ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/274381053

Avances en didáctica de la química: Modelos y lenguajes

Book · January 2014

CITATION
1

READS
3,585

3 authors, including:



Cristian Gonzalo Merino Rubilar
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
74 PUBLICATIONS **285** CITATIONS
SEE PROFILE



Agustín Adúriz-Bravo
Universidad de Buenos Aires
143 PUBLICATIONS **1,576** CITATIONS
SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

Estudio etnografico sobre el desarrollo de habilidades de pensamiento científico y comunicativo en escolares View project

Project Fondecyt 11100402 View project

All content following this page was uploaded by Cristian Gonzalo Merino Rubilar on 24 August 2015.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

Avances en Didáctica de la Química: modelos y lenguajes invita a reflexionar en tres niveles: *i*) la enseñanza de la química en las escuelas y colegios, *ii*) la formación del profesorado de química, y *iii*) la docencia universitaria de la disciplina, a fin de responder a una simple pero importante pregunta: ¿qué puede hacer un profesor o profesora de química en un aula universitaria o escolar para obtener los mejores resultados con sus estudiantes? En pos de responder a esta pregunta se hace en cada capítulo un amplio y detenido recorrido por los actuales marcos teóricos en torno al aprendizaje y a la enseñanza, para sacar conclusiones y proporcionar algunas directrices sobre cómo enseñar química en los distintos niveles educativos y en las distintas situaciones didácticas. En resumen, el lector de este libro encontrará unos fundamentos conceptuales y unas guías de acción que le permitirán plantearse problemas didácticos enfocados en las diversas actividades que se despliegan en el aula. Para el logro de este propósito, diferentes expertos nacionales e internacionales que se encuentran investigando y reflexionando sobre estas ideas han colaborado con los capítulos que forman parte de esta obra.

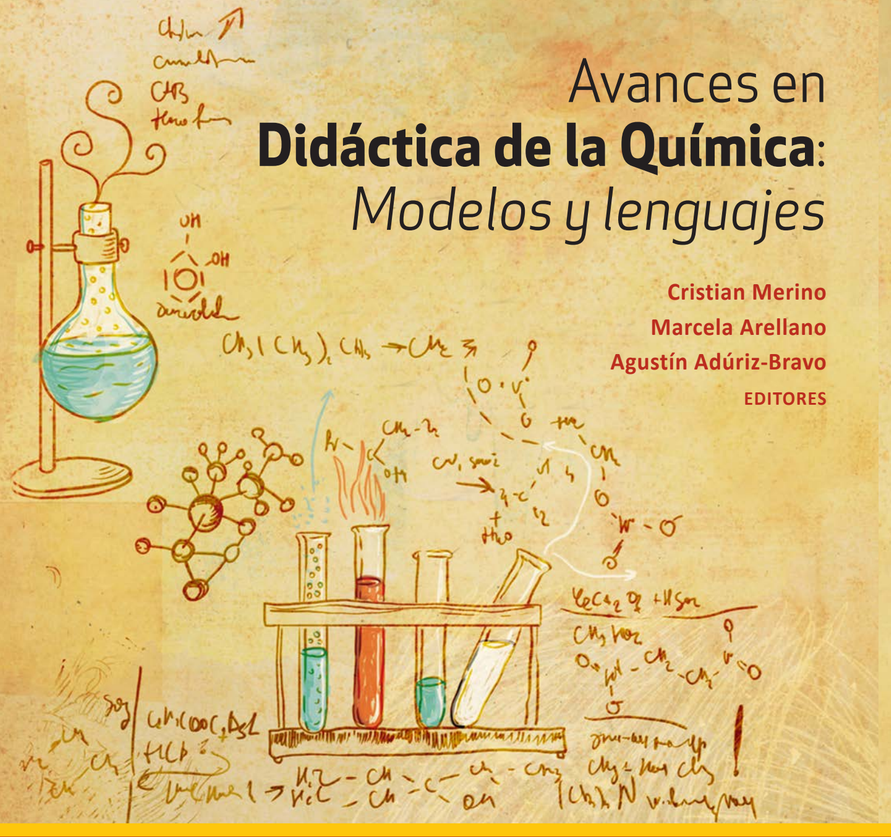
serie arbitrada

www.euv.cl

EDICIONES UNIVERSITARIAS DE VALPARAÍSO
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

9 789561 705937

Avances en **Didáctica de la Química**: Modelos y lenguajes • C. Merino / M. Arellano / A. Adúriz-Bravo EDITORES



Avances en **Didáctica de la Química**: *Modelos y lenguajes*

Cristian Merino
Marcela Arellano
Agustín Adúriz-Bravo
EDITORES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO

EDITORES



Cristian Merino Rubilar es Profesor de Química y Ciencias Naturales por la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile, y Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales por la Universidad Autónoma de Barcelona, España.
Mail: cristian.merino@ucv.cl



Marcela Arellano Johnson es Profesora de Química y Magister en Currículum por la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
Mail: marellan@ucv.cl



Agustín Adúriz-Bravo es Profesor de Enseñanza Media y Superior en Física por la Universidad de Buenos Aires, Argentina, y Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales por la Universidad Autónoma de Barcelona, España.
Mail: aadurizbravo@cefiec.fcen.uba.ar

Avances en **Didáctica de la Química**: Modelos y lenguajes

Cristian Merino
Marcela Arellano
Agustín Adúriz-Bravo
EDITORES

Ediciones Universitarias de Valparaíso
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Con fines comerciales, quedan rigurosamente prohibidas, bajo sanciones establecidas en las leyes, la reproducción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de ésta por cualquier medio, tanto si es electrónico como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien fotocopia, sin la autorización escrita de los titulares del copyright. Si necesita fotocopiar o escanear fragmentos de esta obra, diríjase a secddcyf@ucv.cl

© Cristian Merino, Marcela Arellano, Agustín Adúriz-Bravo (editores), Diana Bekerman, José A. Chamizo, Johanna Camacho, Andrea Soledad Farré, Lidya Galagovsky, Alejandra García, Adrianna Gómez, María Angélica Di Giacomo, Kristianne Lina Figueirêdo, Mercè Izquierdo, Roxana Jara, Rosária Justi, Martín Labarca, Olimpia Lombardi, María Gabriela Lorenzo, Ainoa Marzábal, Vicente Talanquer, 2014

© De esta edición: Instituto de Química
Campus Curauma, Av. Universidad 330, Placilla

© Dirección de Desarrollo Curricular y Formativo, Vicerrectoría Académica
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Casa Central, Av. Brasil 2950, Valparaíso, Chile
Tel. (56-32) 227 3177
e-mail: secddcyf@ucv.cl

Colección: Didáctica de las Ciencias Experimentales
Director de la colección: Cristian Merino

1ª Edición: 2014
Registro de Propiedad Intelectual Nº 241.905
ISBN: 978-956-17-0593-7
Tirada de 250 ejemplares

Ediciones Universitarias de Valparaíso
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Calle 12 de Febrero 187, Valparaíso, Chile
Tel. (56-32) 227 3087 - Fax (56-32) 227 3429
e-mail: euvsa@ucv.cl
www.euv.cl

Traducción: Laisa Freire dos Santos, Universidad Federal do Rio de Janeiro
Capítulo 4, portugués al castellano

Imagen de portada del archivo Shutterstock 96105689

Impreso por Salesianos S. A.

HECHO EN CHILE

ÍNDICE

Presentación . . . . . Pág. 7

Capítulo 1. **PASADO Y PRESENTE DE LA QUÍMICA: SU FUNCIÓN DIDÁCTICA**
Mercè Izquierdo 13

Capítulo 2. **UNA NOCIÓN DE MODELO ÚTIL PARA LA FORMACIÓN DEL PROFESORADO DE QUÍMICA**
Agustín Adúriz-Bravo, Martín Labarca y Olimpia Lombardi 37

Capítulo 3. **EL USO DE REPRESENTACIONES MULTIMODALES Y LA EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS ESCOLARES**
Adrianna Gómez 51

Capítulo 4. **CONOCIMIENTO PEDAGÓGICO DE CONTENIDO (PCK) DE PROFESORES SOBRE MODELIZACIÓN**
Rosária Justi y Kristianne Lina Figueirêdo 63

Capítulo 5. **MODELOS Y MODELAJE EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS: UNA EXPERIENCIA DE FORMACIÓN CON PROFESORES MEXICANOS EN SERVICIO**
José A. Chamizo y Alejandra García 79

Capítulo 6. **EL ROL DE LAS SUPOSICIONES IMPLÍCITAS Y ESTRATEGIAS HEURÍSTICAS EN EL RAZONAMIENTO DE LOS ESTUDIANTES DE QUÍMICA**
Vicente Talanquer 93

Capítulo 7. **ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA: LENGUAJES EXPERTOS COMO OBSTÁCULOS DE APRENDIZAJE**
Lydia Galagovsky, Diana Bekerman y María Angélica Di Giacomo 107

Capítulo 8. **LA PROMOCIÓN DE LA REGULACIÓN Y AUTORREGULACIÓN EN QUÍMICA A TRAVÉS DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL**
Cristian Merino, Marcela Arellano y Roxana Jara 119

Capítulo 9. **LA EXPLICACIÓN CIENTÍFICA ESCOLAR: UN ANÁLISIS DESDE LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE DE LA TEORÍA ELECTROQUÍMICA**
Johanna Camacho 131

Capítulo 10. **LA COMPRENSIBILIDAD DEL DISCURSO QUÍMICO DE LOS TEXTOS ESCOLARES DE CIENCIAS**
Ainoa Marzábal 143

Capítulo 11 **EPISTEMOLOGÍA, HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LAS CIENCIAS: UN PUENTE ENTRE LA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA Y LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS**
María Gabriela Lorenzo y Andrea Soledad Farré. 167

PRESENTACIÓN

Cristian Merino, **Marcela Arellano** y **Agustín Adúriz-Bravo**
Editores

Avances en didáctica de la química: modelos y lenguaje forma parte de la colección Formación de Profesores. Docencia Universitaria, cuyo objetivo es contribuir a la formación permanente, tanto en los procesos de actualización docente como la puesta en marcha de diferentes programas a nivel nacional en formación docente universitaria.

Este volumen tiene como objetivo dar a conocer los aspectos teóricos más prácticos de la formación del profesor de Química a través de una serie de capítulos que abordan desde conocimiento didáctico del contenido, hasta orientaciones para el desarrollo de la formación docente inicial, experimentación y evaluación de secuencias didácticas en química, especialmente innovador, uso de herramientas y estrategias heurísticas, entre otros. Una variedad de propuesta de experiencias e investigaciones fueron organizadas en virtud de una preocupación compartida por todos acerca del estado actual de la enseñanza de la química. La difícil situación en las aulas se corresponde con el cambio que están experimentando los estudiantes. Se valoran ahora los conocimientos aplicados y la gestión de la información que aparece en los medios de comunicación, que resulta más atractivo que aquello que proviene de una disciplina que se presenta mediante fórmulas de difícil interpretación para quienes son ajenos al lenguaje e intereses específicos de la química.

Siempre ha sido un reto complejo enseñar química a quienes no practican y si bien su lenguaje en especial fórmulas y ecuaciones químicas parecen poblar el camino, esto no es tan así, porque conectan con una 'experiencia química' que no se adquiere mediante unas pocas prácticas de laboratorio que están previstas en los curriculum actuales y que en el caso de los establecimientos escolares no todos pueden llevar a cabo en condiciones óptimas. Las dificultades actuales al enseñar química y formar profesores de química pueden interpretarse a la luz de estos planteamientos. Enseñar a todos a base de fórmulas y ecuaciones es complejo, porque muy pocos estudiantes llegan a intuir el significado de las entidades abstractas que las fórmulas representan y su relación con los fenómenos del mundo real como por ejemplo la combustión, los procesos de limpieza, los medicamentos, los pigmentos, entre otros. Pero a menudo todos estos ejemplos, que son considerados como contextualizadores no funcionan y en consecuencia muchos buenos profesores de química se desaniman.

Nuestro objetivo fue reflexionar sobre estos obstáculos en tres niveles: i) la enseñanza de la química en las escuelas y colegios, ii) la formación de profesores de química, y iii) la docencia universitaria

para la enseñanza de la disciplina, para responder a una gran pregunta, es decir, qué puede hacer un profesor en un aula universitaria o media para obtener los mejores resultados con nuestros estudiantes. Para responder a esta pregunta se hace en cada capítulo un amplio y detenido recorrido por las actuales terías sobre el aprendizaje para concluir y proporcionar algunas directrices sobre cómo enseñar química. En resumen el lector de este libro encontrará una base y guía que le permitirá plantearse problemas didácticos para las actividades que se despliegan en el aula.

Para el logro de este propósito diferentes expertos nacionales e internacionales que se encuentran investigando y reflexionando sobre estas ideas han colaborado con un capítulo que forma parte de esta obra.

En el Primer Capítulo de este libro, Mercè Izquierdo traza unas líneas sobre el conocimientos que elaboran grupos de especialistas y que se transmiten en los centros de enseñanza. El importante proceso de transposición didáctica que siempre ha tenido un lugar prioritario, hoy enfrenta los nuevos objetivos educativos (enseñanza competencial de las ciencias *'para todos y no sólo para 'especialistas'*) y origina nuevos retos muy importantes, que son mucho más que una simple reestructuración curricular con la cual se ordenan unos *contenidos/conocimientos* en diferentes niveles. La nueva *transposición didáctica* debe conseguir que se produzca *actividad química* como condición para que los alumnos adquieran *pensamiento químico*. Adicionalmente nos invita a que la enseñanza de la química debe renovarse, de acuerdo con las demandas actuales de la escuela. Para avanzar (a tientas, de momento) por este camino que debería llevarnos a nuevas propuestas docentes, debemos identificar las *preguntas genuinas* que generan criterio químico y centrar en ellas las propuestas docentes; y nos parece una muy buena estrategia buscarlos, desde la didáctica de las ciencias, en la filosofía y la historia de la química.

En el Segundo Capítulo "Una noción de modelo útil para la formación del profesorado de química", se presenta como en su título lo indica los autores Agustín Adúriz-Bravo, Martín Labarca y Olimpia Lombardi, señalan que en el contexto de educación de la ciencia es de enorme relevancia en la medida en que moldea no solo las capacidades y actitudes que los futuros científicos pondrán en juego en sus tareas de investigación, sino también la imagen social de la ciencia en el ámbito extracientífico. Es en ese mismo contexto que ciertos problemas de la ciencia, de interés epistemológico y filosófico, son también cuestiones que merecen ser tematizadas para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. Un caso paradigmático de ello es la cuestión de la utilización de modelos en ciencias, un tema central tanto en la epistemología (o filosofía de la ciencia) como en la didáctica de las ciencias naturales. Así en este capítulo los autores abordan este tema argumentando que los modelos deben comprenderse como mediadores entre ciencia y realidad, como aquello que permite la aplicación múltiple de una teoría científica pero, a la vez, derruye la concepción ingenua de las teorías como copias de la realidad. Con este objetivo, se presenta un caso concreto de la química –del enlace químico– y, a partir de ese caso, se revisa cómo esta concepción de los modelos como mediadores tiene influencia directa sobre la práctica efectiva de la educación en química y la formación inicial y continuada del profesor de química.

El Tercer Capítulo, Adrianna Gómez, revisa las aportaciones de ciencia escolar de Izquierdo y co-

laboradores (1999) y ejemplifica de forma de proporcionar respuestas a cómo la construcción de modelos escolares permite construir un pensamiento teórico en torno a los fenómenos naturales. Es decir, que los alumnos puedan pensar en términos de átomos o moléculas para explicar algunos fenómenos químicos, o en células y sistemas para explicar algunos fenómenos biológicos o en fuerzas en interacción para explicar algunos fenómenos físicos. Adicionalmente en el capítulo se aborda la discusión en torno a los procesos de construcción y evolución de modelos, en especial en torno al uso de representaciones multimodales. Debido a las múltiples interpretaciones que se encuentran en la bibliografía sobre modelo y representación aquí inicialmente se establece qué se entenderá por modelo escolar y por representación y posteriormente se discuten los elementos que pueden incidir en la elaboración y evolución de los modelos escolares a través del uso de las representaciones multimodales.

Rosária Justi en el Cuarto Capítulo considera que el reconocimiento del rol de los modelos y de la modelización en enseñanza de las ciencias es reciente, e invita a profesores y docentes universitarios, a cuestionarse sobre su preparación en torno a conocimientos y habilidades necesarias para enseñar bajo una perspectiva que se centra en la comprensión de los estudiantes a cerca de la naturaleza de la ciencia. Por otro lado, plantea que para tratar de promover el desarrollo de conocimiento de los profesores, es necesario tener en cuenta sus conocimientos y los de los elementos que componen los conocimientos básicos acerca de los modelos y de modelización. Esta idea es discutida ampliamente en este capítulo.

En la línea de los modelos y modelización José Chamizo en el Quinto Capítulo, nos comparte su experiencia de formación de profesores en México y plantea el reto de cómo hacer para que los profesores no caigan en reproducir (en realidad repetir) lo que ellos mismos aprendieron, y aquellos de sus alumnos que lleguen a ser profesores de química repetirán a su vez lo que aprendieron. Desde esta perspectiva propone la enseñanza de las ciencias desde un enfoque de modelización, el cual se discute en este capítulo.

En el Sexto Capítulo, desde Estados Unidos, Vicente Talanquer nos invita a reflexionar sobre muchos de los problemas de razonamiento detectados por docentes e investigadores educativos en el área de la química que pueden explicarse si asumimos que el pensamiento espontáneo de los alumnos está constreñido por dos grandes tipos de restricciones cognitivas: A) Suposiciones implícitas acerca de propiedades y comportamiento de entidades y fenómenos en el mundo que nos rodea, y B) Estrategias heurísticas para tomar decisiones. En este capítulo se resumen e ilustran los resultados que han obtenido al analizar el razonamiento de estudiantes universitarios desde esta perspectiva. Este tipo de trabajo puede apoyar y facilitar el desarrollo de progresiones de aprendizaje que modelen secuencias posibles y deseables en las formas de pensar de los estudiantes sobre temas centrales en química.

En el Séptimo Capítulo, Lydia Galagovsky y colaboradoras enfatizan y nos recuerdan que una clase de ciencias es un espacio de comunicación entre el docente, experto en temáticas, y los estudiantes y aquí se produce un quiebre el cual lo abordan en profundidad. En esta línea una idea fuerte en didáctica de las ciencias es la problemática de “hablar ciencias”. Hablar ciencias significa compren-

der las complejas formas en que se presenta el discurso de la Química, entendiendo conceptualmente las relaciones entre fenómenos, materiales, propiedades y procesos, las diversas formas de representarlos, las explicaciones que se sustentan en modelos de funcionamiento a nivel atómico o molecular, y las formas de expresión de dichos modelos, que han sido y deben ser permanentemente consensuadas dentro de la comunidad de expertos químicos. Decir que el discurso científico se expresa mediante lenguajes implica que un sujeto que aprende la disciplina debe llegar a conocer significados, convenciones, normas, acuerdos entre expertos sobre cuáles palabras, signos, códigos, gráficos y/o formatos sintácticos son aceptables, o no, dentro de cada lenguaje, y en qué contexto se aplican.

En el Octavo Capítulo se despliegan algunas reflexiones acerca del desarrollo de la autorregulación de los aprendizajes en química a través de la actividad experimental mediante la implementación de un instrumento gráfico-semántico para la docencia universitaria. La selección de estas estrategias se debe a que la evidencia internacional consideran que la calidad del trabajo desarrollado por los estudiantes depende fuertemente de su capacidad de anticipar las etapas de la actividad experimental y de ejecutarlas bajo vigilancia metacognitiva, es decir, con capacidad autorreguladora. Para fundamentar estas reflexiones los autores Cristian Merino, Marcela Arellano y Roxana Jara, se basan en los aportes que se han hecho frente a un trabajo más crítico en el laboratorio, a través de un instrumento mediador.

En el Noveno Capítulo Johanna Camacho, aborda la pregunta ¿cómo se construyen las explicaciones científicas escolares en la clase de química? Para el logro de este propósito, la autora realiza una reflexión teórica sobre qué es la explicación científica desde la ciencia erudita y la ciencia escolar, para después discutir acerca de cuál es la importancia de esta en el contexto escolar. Luego, se propone como objeto de estudio la teoría electroquímica, teniendo en cuenta que es una de las temáticas más difíciles de enseñanza y aprender. Finalmente, se describe una propuesta de investigación realizada en un contexto de intervención docente, la cual permite concluir que la explicación científica promovida en el aula de química corresponde a una lógica inductiva, las secuencias identificadas se inician con la definición y descripción de los conceptos científicos y por último, que más que explicaciones científicas en sí, el profesor promueve estrategias didácticas, reguladas por el tipo de actividades propuestas, que ayudan al estudiantado a construir sus propias explicaciones.

En el Décimo Capítulo Ainoa Marzábal, nos presenta el análisis de una muestra de tres libros de texto considerando que contiene un discurso químico con una intencionalidad didáctica, es decir, que está pensado para que los lectores puedan ir asimilando los contenidos de forma autónoma a través de su lectura. El objetivo es identificar el contenido conceptual del texto y representarlo mediante un mapa conceptual que represente la red informativa que se va construyendo a lo largo del texto, y explorar las posibilidades de compresión que ofrece al lector esta estructura expositiva. La autora aplica un modelo de comprensión lectora para explorar la base textual del libro de Química, profundizando en el análisis de las relaciones de regla que se establecen entre los conceptos presentes, lo que nos ha permitido evidenciar la construcción excesivamente teórica de la Química en los textos escolares, que queda entonces desvinculada de los fenómenos del mundo real y pierde su poder explicativo y predictivo. Los resultados obtenidos proporcionan al profesor e investigadores herra-

mientas metodológicas para el estudio de los textos escolares de ciencias y algunos criterios para modificar las propuestas de los textos escolares y hacerlas más adecuadas desde una aproximación didáctica.

Finalmente en el Décimo Primer Capítulo María Gabriela Lorenzo y Andrea Soledad Farré, nos plantean varias interrogantes sobre las relaciones entre epistemología, historia y filosofía de las ciencias, como disciplinas puente entre la investigación didáctica y la enseñanza de las ciencias, centrando en un aspecto crucial para el aula: el análisis reflexivo y crítico de los libros de texto como un recurso para la actualización docente, compartiendo sus experiencias en la formación de profesores de ciencias en Argentina.

Creemos que la obra que aquí se presenta puede ser útil para profesores de química que están en primera línea enseñando para todos y todas la disciplina, docentes universitarios dedicados a la formación de profesores de química y a la enseñanza de la química a otros públicos, editores de libros de textos, ofreciendo nuevas finalidades a la enseñanza de química.

Hemos centrado nuestro trabajo en dos grandes ideas: a) modelos, porque no podemos conocer la naturaleza si no es a través de ellos, y b) lenguaje, dado que aprender química es aprender un nuevo idioma, con el cual pensar, actuar y hablar en coherencia para poder aprender química, aprender sobre química y aprender a hacer química para usar el conocimiento científico, de identificar problemas y sacar conclusiones basadas en evidencia (y saber comunicarlas) de manera de comprender y ayudar a tomar decisiones sobre el mundo natural y los cambios producidos en él a causa de la actividad humana. Invitamos a hacer una lectura compartida de esta obra.

Capítulo 1

PASADO Y PRESENTE DE LA QUÍMICA: SU FUNCIÓN DIDÁCTICA

Mercè Izquierdo
Universitat Autònoma de Barcelona,
Departamento de Didáctica de las Matemáticas y
de las Ciencias Experimentales, España,
merce.izquierdo@uab.es

En este capítulo nos preguntamos sobre cuáles son los aspectos cruciales de la química, aquéllos que requieren una 'experiencia' del cambio químico que consideramos fundacional: sin ella, la química en la escuela va a ser sólo palabras sin significado práctico (Bensaude-Vincent, 2008). Constituyen en conjunto, lo que llamamos Modelo Teórico 'Cambio Químico' y está formado por representaciones, lenguajes y aplicaciones específicas, que son los requisitos que Toulmin (1972) reclama para las disciplinas.

Esta pregunta procede de un interés por una '*teoría de los contenidos escolares*' que es recurrente en la didáctica de las ciencias, especialmente en la Europa continental. Los aspectos que aquí se debaten se analizan en la interfase entre H, F y D, aunque no se resuelven: queremos que queden abiertos a posteriores aportaciones. Son: a) qué es la química y cuáles son sus *finalidades*; b) los *núcleos temáticos de* la química que se enseña, relacionados con estas finalidades y sin traicionar lo que es la química; c) las *estrategias de progresión/ modelización/ método*, en una 'química que se enseña para ser aprendida', que proceda de preguntas y actividad genuinas; d) los criterios que han de permitir enfrentarse a *problemas* de manera *competente*.

¿Cuáles son los problemas de los que se ocupa la química, las preguntas genuinas, irreductibles a las de otras disciplinas, que se formula? Esta es la pregunta, siempre abierta, propia de la Filosofía de la Química, que ilumina y da sentido a la Historia de la Química. Nosotros nos planteamos las mismas preguntas, desde las aulas donde se enseña química, y recurrimos a la historia/filosofía de la química para contrastar nuestras respuestas sin que se agoten las preguntas, que nos acompañan siempre, tanto a los profesores de una materia como a los filósofos de la química. Intentamos aproximarnos a ella de manera no anacrónica aunque reconociendo el sesgo que podrían introducir, puesto que se formulan desde una disciplina diferente a la Historia de la Q, la didáctica de las ciencias. Lo que hace que la química sea una ciencia viva es el interés por los cambios de los materiales y el 'saber hacer' que permite intervenir en ellos, no el dominio de unas determinadas definiciones, ni conocer una determinada representación de la estructura de los materiales. Sin este interés, imaginar cargas, núcleos y enlaces de diferente tipo no tiene sentido. Desarrollamos estas ideas en el apartado 2.

Merino, C., Arellano, M., Adúriz-Bravo, A (Eds.) *Avances en didáctica de la química: modelos y lenguaje.*
© 2014. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Impreso en Valparaíso, Chile.

La OCDE recomienda que los alumnos adquieran 'competencias de pensamiento científico' como resultado de la intervención docente[1]. Simplificando, podemos decir que ahora, para enseñar química, debe desarrollarse actividad química genuina, porque sólo en la acción se pueden evaluar las competencias. Con ello, la comparación que vamos a hacer aquí, entre la actividad química (mediante la cual se generaron las entidades químicas) y la enseñanza actual de esta disciplina (que parte de estas entidades y enseña a aplicarlas) adquiere sentido y es relevante. Un análisis de los libros de texto de los últimos sesenta años muestran una progresiva implantación de explicaciones que parten de una descripción de los átomos y de sus estructuras electrónicas para deducir y justificar el comportamiento de las substancias. Abundan las definiciones y escasean las argumentaciones y los problemas auténticos (Garret, 1998). Si las estructuras atómicas fueran, por ellas mismas, verosímiles, lógicas, podrían, quizás resultar explicativas. Pero, por la manera de presentarlas, nunca podrán contener el 'saber hacer' y el 'querer hacer' de la tradición disciplinar a la cual pertenecen. Sin su objetivo propio no significan gran cosa; la historia de la química proporciona un buen testimonio de ello. Quizás por ello son muchos los estudiantes que no llegan a interesarse por esta ciencia y rechazan adoptar un lenguaje simbólico que remite a un mundo muy diferente del que nos rodea, en el que no se reconoce ni tan siquiera el laboratorio. 'Como es tan difícil enseñar, enseñemos lo menos posible'; esta máxima de buen sentido, aplicada aquí a la enseñanza de la química, requiere una selección cuidadosa de los temas, puesto que lo que se aprende en la escuela debe ser básico para poder sostener la visión del mundo que se irá desarrollando en posteriores niveles educativos o, simplemente, a lo largo de la vida. Estos temas ´básicos' han de generar experiencia química y 'modelos teóricos de cambio químico 'que la sustente, a partir de los fenómenos que han sido seleccionados. Desarrollamos estas ideas en el apartado 3.

La interacción entre enseñanza e historia/ filosofía de la ciencia es especialmente eficaz y innovadora, al centrarse en la actividad que da sentido a las entidades científicas, puesto que surgen de ella. De ella surgen nuevos enfoques docentes: contextualizar y modelizar, como alternativa a paradigmas de enseñanza transmisivos e enciclopédicos, según los cuales los 'contenidos' se confunden con lo que está escrito en los libros y no se contrastan con la actividad genuina que hacen posible. Destacamos dos resultados de esta interacción: la constatación de que es primero la intuición química que la formalización de las entidades químicas; y el reconocimiento de que es necesario iniciar el proceso de modelización en la escuela sin pretender poder definir las entidades químicas tal como corresponde a las teorías químicas actuales: tiempo habrá para ello. Este enfoque nos proporciona una perspectiva de aproximación a la historia de la química que realza la importancia de empezar por dar sentido a la química escolar y de utilizar en clase de manera coherente el lenguaje, las representaciones y las intervenciones experimentales para conseguir 'modelizar'. La formación académica 'deductiva' intenta utilizar una racionalidad lógica en la enseñanza, la 'racionalidad lógica de las teorías ya formalizadas; el problema es que, aún en el caso de que los alumnos estén dispuestos a incorporar, como axiomas, las afirmaciones acerca de cómo son las entidades químicas, conectan con dificultad con los fenómenos y la historia nos muestra por qué. La actividad humana 'competente' requiere

[1] La evaluación PISA , por ejemplo.

también 'racionalidad narrativa': si la química se refiere al cambio químico, es esta 'historia' la que interesa: la de los materiales que cambian y la de las personas que se preguntan por este cambio y desean controlarlo por alguna razón. Desarrollamos estas ideas en el apartado 4.

La emergencia de conocimiento se produce en contextos específicos en los cuales la actividad es genuina. La historia de las ciencias ofrece posibilidades de identificarlos. Si bien los laboratorios, las universidades, las farmacias, los hospitales…lo han sido en algún momento, también, en todos los casos, ha tenido su papel la sociedad civil: la economía, la política, las ideologías. Lo que tienen en común es que en ellos se formulan las preguntas que los convierten en 'problemas' cuya resolución genera nuevos conocimientos y hace evolucionar los modelos teóricos. ¿Cuáles son estos contextos, en la enseñanza?¿Hasta qué punto pueden ser diferentes de los que dan lugar a la química académica, teniendo en cuenta que han de dar lugar a respuestas verosímiles en el marco del Modelo Cambio químico? La tensión entre ciencia y opinión ha estado siempre presente y ahora, más que nunca, debe tenerse en cuenta en una escuela que no pretende formar científicos sino ciudadanos competentes. Es evidente que, en este nuevo panorama, los niveles finales de enseñanza quedan difusos y deberán aceptarse diferentes 'perfiles' que son compatibles con alguna de las múltiples facetas de la competencia científica. Lo esencial es que proporcione criterio para continuar desarrollando actividad científica incrustada en la propia actividad humana de cada cual. Desarrollamos estas ideas en el apartado 5.

En este espacio, en el cual confluyen la historia, la filosofía y la enseñanza de las ciencias, se van configurando nuevos currículos y, de su aplicación, surgen nuevas explicaciones que dan razón de las semejanzas y diferencias entre los procesos de emergencia de conocimiento en las comunidades de científicos y en las escuelas en las cuales se promueve el diálogo en una 'ciencia escolar'.

La enseñanza es un contexto de actividad científica; contribuye a estructurar los conocimientos a través de los libros de texto, los currículos, los concursos para llegar a ser profesor. Hasta hace poco tiempo, se enseñaba química a quienes iban a dedicarse a ella, pero ahora ya no es así. Las innovaciones didácticas que ahora deben llevarse a cabo generan una química escolar que debería ser valorada, según otros patrones de referencia.

Lo que aquí se propone, y creemos que con fundamento, es impulsar la modelización de los fenómenos a partir de la finalidad propia de la química: transformar los materiales y aprovechar, para ello, su manera de ser; y, con ello, establecer una relación más estrecha entre los fenómenos y los conceptos y entidades químicos. Para ello, los fenómenos se hacen abstractos y las entidades se adaptan a ellas, acortando la distancia que habitualmente se establece entre el macro y el micro, en química y que transforma a la química que se enseña en algo irracional.

¿QUÉ ES LA QUÍMICA? ¿CUÁLES SON SUS PREGUNTAS BÁSICAS?

Haremos un breve repaso de la evolución de la química, según la tradición 'de las substancias': su origen didáctico en la Edad Moderna; sus 'reglas' y sus entidades; sus átomos; su lenguaje y sus representaciones; su destino didáctico, que es el que motiva este capítulo.

Origen didáctico de la química

La química empezó a enseñarse de manera generalizada en las universidades ya bien entrado el siglo XIX, pero la actividad intencionada y controlada de transformación de los materiales que le es propia es muy antigua. Mucho antes de que Lavoisier propusiera su teoría de la combustión a finales del siglo XVIII funcionaban laboratorios químicos en los que se analizaban minerales y se sintetizaban medicinas, colorantes y productos cosméticos (entre muchos otros materiales útiles); y se escribían libros en los que se divulgaban y razonaban los métodos de obtención y de control de los procesos de cambio 'químico' de los materiales.

Según Hannaway (1975), la química moderna tiene un origen didáctico; cita, como ejemplo del nuevo conocimiento emergente a finales del Renacimiento, el libro 'Alquemia', de Libavius que fue escrito para poder enseñar una manera de intervenir en el cambio de los materiales que se iba considerando útil, a pesar de suscitar también polémica (ver Béguin, 1620, introducción). La emergencia de la química corresponde a un cambio de cultura: termina el Renacimiento y empieza la Edad Moderna y, con ello, se impone una mentalidad práctica que considera legítima y necesaria la intervención en la naturaleza con instrumentos que generan procesos y materiales antes inexistentes. El conocimiento práctico, de intervención directa en la naturaleza, permite utilizar en beneficio de las personas las relaciones entre los materiales/ entidades del propio mundo, ocultas para aquéllos que no experimentan con humildad, piedad y trabajo arduo. A partir de la intervención reflexiva, la naturaleza se 'disciplina' para dar lugar a la práctica experimental, sostenida por los libros, que se va a imponer a partir de este momento.

Las entidades de la nueva disciplina eran las operaciones de la química y los materiales que se obtenían como resultado de ellas. La clasificación de materiales, de los utensilios y de los procesos es eminentemente práctica, pero tiene una pretensión de generalización que la hace ya científica y que le proporciona el vector de crecimiento que permite seguir el hilo de su evolución en los dos siglos siguientes.

Se inicia una tradición que llega hasta hoy: la química de las substancias. En ella surgen los principales entidades teóricas de la química, estrechamente relacionadas con una actividad de la cual emergen preguntas y busca respuestas que amplían las fronteras de la propia práctica, con nuevos artefactos y nuevos lenguajes. Destacamos algunos hitos en esta evolución, los que muestran cómo pueden verse las entidades químicas en el mundo, antes de que se formalicen y se conviertan en lenguaje teórico, críptico para los que no formularon las preguntas.

El 'Mercurio de Vida', según Béguin

En 'Elements de Chimie' su autor J. Béguin' escribe un magnífico texto que muestra como 'se ven' los elementos en la tradición de las substancias. Se refiere a la obtención del llamado 'Mercurio de Vida' y propone cambiarle el nombre, porque 'no contiene mercurio'. El mercurio de vida se obtiene calentando 'antimonio' y mercurio sublimado en una retorta, de la cual se destila el producto, quedando en la retorta cinabrio. Dice:

> ….'He demostrado a todos los que han visitado mi laboratorio, fundamentándome en la experiencia (porque no admito ninguna otra razón, en este arte) que el polvo emético no es otra cosa que el régulo de antimonio disuelto y calcinado por el espíritu vitriólico del sublimado… que abandona al mercurio y se une al régulo de antimonio.

Ilustra su argumentación con un diagrama que se ha considerado la primera ecuación química de la historia. Béguin 've' los componentes (invisibles) en los 'materiales que participan en los cambios' : el régulo y el azufre en el 'antimonio, el espíritu vitriólico y el mercurio en el sublimado de mercurio. Estos componentes se conservan y aparecen distribuidos de manera diferente en los productos. Como que conoce la composición del cinabrio, el mercurio está allí y no puede estar en el polvo emético. Su explicación convence a aquéllos a quienes iba destinada, farmacéuticos prácticos como Béguin; en esta tradición de pensamiento se comprende que donde hay cinabrio hay mercurio y donde hay antimonio está su régulo (aunque en una forma diferente al metal). El razonamiento de Béguin no puede aplicarse a todas las interacciones entre 'mixtos' pero se reconoce en explicaciones similares: las de Lemery cuando justifica que el espíritu de Saturno (acetona) no puede ser llamado así porque el plomo del acetato de plomo con el cual se obtiene queda en el matraz, en las de Newton en la cuestión 31 y las que dieron lugar a la 'Table de Rapports entre difrentes substances' de Geoffroy y a las posteriores tablas de afinidades.

Los principios y los nuevos elementos

En paralelo a esta explicación, en la cual se identifican componentes 'sui generis', se desarrolla otra mediante la cual se intenta relacionar la composición de las substancias con algunas de sus propiedades las cuales, efectivamente, son especialmente relevantes en química: la solubilidad en agua y la capacidad de formar cristales, la fusibilidad, la combustibilidad. Se habla entonces de otro tipo de 'elementos', llamados principios: la sal, vinculada a la cristalización y a los sólidos que funden a temperaturas elevadas; el agua, a la solubilidad; el mercurio, a la fusibilidad y el azufre, a la combustibilidad. Desde este punto de vista se podrían justificar que determinados mixtos forman parte de un mismo 'grupo', porque comparten un mismo principio- propiedades. Estos principios son algo más abstractos y van acompañados, algunas veces, del adjetivo 'filosófico'; no queda claro si son materiales o no. Estos 'principios' cualitativos y clasificatorios coexistían con los cuatro elementos clásicos: fuego, aire, tierra y agua, que formarían un cuadro de la naturaleza mucho más general, en el cual deberían tener cabida tanto 'los principios' como las 'substancias' de las tablas de afinidad.

La conservación de la materia, la masa y los principios, según J. Black y A.L. Lavoisier

La tradición de las substancias se desarrolla de manera práctica: finalmente, 'esto' que se conserva es 'materia' y debe formar parte 'material' de los mixtos. Joseph Black interpreta así la pérdida de masa de la caliza cuando se calienta y sigue a la perfección la ruta del 'ácido aéreo' (nuestro ceodós). La aparente contradicción al interpretar los cambios en las cales de los metales, interpretados en términos de 'flogisto' le lleva a admitir que quizás hay componentes de masa negativa (supuestamente, el flogisto en el metal disminuye su masa). Pero, en todo caso, la materia se conserva; aunque la

masa pueda tener valores positivos y negativos, podrían hacerse, igualmente, balances de masa. Cuando se consigue capturar gases mediante instrumentos específicos y se consigue medir el calor también mediante instrumentos específicos, la química de las substancias se hace cuantitativa y, al tener en cuenta la intervención de una parte del aire en la combustión (el oxígeno), se descartan las masas negativas.

Esta última observación merece un comentario. Las proporciones fijas en la interacción química es una regla bien conocida en esta tradición científico-técnica. En este sentido, la actividad química ha necesitado siempre de la balanza. Pero lo que pasa ahora es que 'la masa' permitirá seguir la pista de los elementos, la que dotará a la química de una teoría atómica propia y apartará, de momento[2], la atención de los 'principios portadores de propiedades'…. Se consolida el heurístico 'componente'.

Si A y B reaccionan para formar C

o si C se descompone en A y B,

C se compone de A y B

frente al heurístico 'principio'

Si A tiene una característica C

A contiene un principio P que es responsable de ella, y puede transmitirlo

y consolida el heurístico 'masa': A y B tienen una masa (química) propia que arrastran allí donde vayan. Los intercambios entre elementos se irán siguiendo a través de las variaciones de masa que le corresponden.

En efecto, la coexistencia entre 'principios', elementos y 'substancias que se conservan' finaliza a finales del siglo XVIII y Lavoisier concreta el cambio en su libro, destinado también a la enseñanza. Veremos más adelante cuál era su plan y su postura didáctica. No hay, en él, referencia explícita a los cuatro elementos y, en cambio, llama elementos a 'las substancias que se conservan' que identifica, de manera confusa, a las substancias simples; a partir de ellos, portadores de masa, se forman todas las substancias conocidas, así como las nuevas que se obtienen en el laboratorio. Modifica (sin llegar a prescindir de él del todo) el heurístico 'propiedades' y establece reglas de composición claras, aunque el 'elemento' continúa manteniendo un cierto misterio.

Los átomos de los químicos

Consideremos lo que se ha dicho hasta ahora. La tradición de las substancias, eminentemente práctica, requiere 'elementos', 'masas que se conservan' e 'historias químicas'. Curiosamente, no necesita

[2] Interpretar, gestionar y explicar las propiedades es un tema muy propio de la química y se requiere experiencia práctica para hablar del tema. Debemos considerarlo como una pregunta que va acompañando al químico en su trabajo.

de los átomos; los que propone Boyle[3] no sirven para esta química 'de pies en el suelo'. En cambio, los de Dalton tendrán éxito porque no son las partículas elementales, cuánticas, que ahora manejamos; los 'átomos químicos del siglo XIX (Rocke, 1984) están aún muy cercanos a los fenómenos y se reconocen en ellos. Se consolidan en tanto que aportan orden a los fenómenos (el orden que se deriva de las cantidades químicas) y, cuando lo hacen, encierran en ellos una parte del fenómeno.

Aceptar, como elementos, a las substancias simples es jugar a favor de la ciencia especializada; sólo para quien hace química tiene sentido que existan, en la naturaleza, tantas 'materias' diferentes, que de ninguna manera pueden transformarse unas en otras y que 'existen' en sus compuestos sin manifestarse en ninguno de ellos. Y, como consecuencia de esta especialización, va a nacer un lenguaje también especializado, teórico: los elementos van a tener un nombre simple, los compuestos, compuesto, de manera que pongan de relieve su composición. A cada elemento le va a corresponder un símbolo y a cada compuesto, un conjunto de símbolos de los elementos que las forman.

El desarrollo del 'atomismo químico' a lo largo del siglo XIX es una aventura intelectual apasionante. Se sintetizan nuevas substancias, se desarrollan industrias químicas y aumenta la enseñanza de la química en las universidades europeas; a la vez, se establece un lenguaje simbólico en el seno del cual 'el átomo' iba adquiriendo un estatuto ontológico, de partícula física además de serlo química.

Las fórmulas

Lavoisier hizo un magnífico alegato a favor del lenguaje teórico, en el Discurso Preliminar de su *Trité Elementaire de Chimie*:

> Toda ciencia física se forma necesariamente de tres cosas: la serie de hechos que constituyen la ciencia, las ideas que las evocan y las palabras que los expresan. La palabra debe originar la idea, ésta debe pintar el hecho: he aquí tres huellas de un mismo cuño. Y como que las palabras son las que conservan y transmiten las ideas, resulta que no se puede perfeccionar la lengua sin perfeccionar la ciencia, ni la ciencia sin la lengua.

Sin embargo, olvidó que, con él, se rompía la posibilidad de compartir el conocimiento científico con toda la sociedad: sólo los 'iniciados' podían comprenderlo, porque habían 'entrado en el juego', participaban de la actividad científica en la cual el lenguaje se había generado. No es lo mismo hablar del 'aire vital' que hablar del oxígeno. El 'modelo teórico' en el cual se inserta uno u otro son distintos, la manera de operar con ambos también lo es y la distancia entre ambos pasa por aceptar que hay 'elementos' con masa que forman los compuestos conocidos.

'aire vital' → substancia simple → oxígeno

Este lenguaje teórico, por serlo, va a intervenir en el posterior desarrollo de la disciplina. Las fórmulas químicas, tan temidas por los estudiantes de química, son en cambio un maravilloso instrumento

---

[3] Propone átomos que difieren sólo en la forma. Los químicos necesitan que sean diferentes unos de otros, tal como lo son los elementos.

para sostener el pensamiento químico y para proporcionar representaciones de los fenómenos en términos de estructuras moleculares con propiedades espaciales y cuantitativas. Podríamos suponer que, con ello, se anticipa la teoría atómica actual, pero no es exactamente así[4].

Los átomos de Dalton permiten expresar la composición de los compuestos en términos de átomos y no de porcentajes de sus elementos: no es lo mismo indicar que el agua tiene un 88% de oxígeno y un 12% de hidrógeno que decir que está formada por dos 'átomos' de hidrógeno y un 'átomo' de oxígeno y representarla, en consecuencia, por la fórmula H_2O. Nos muestran una nueva magnitud, la 'masa química', la que permite determinar las cantidades que intervienen enteras o en múltiplos sencillos en los cambios químicos.

Las moléculas

Mucho más difícil fue determinar qué conjunto de átomos correspondía a la 'molécula' o unidad física que intervenía 'entera' en el cambio químico. También aquí fue el 'saber hacer' de los químicos y la abstracción de la práctica lo que fue determinante, junto con la valentía de inventar lenguajes que sirvieran para pensar la práctica o, dicho de otro modo, para representar a la práctica reflexionada.

El cálculo de estas masas químicas (las masas moleculares) para la substancias orgánicas fue sumamente laborioso, puesto que requería imaginar una unidad de estructura que fuera compatible con la composición (los elementos y las proporciones atómicas) pero que justificara la manera de reaccionar e incluso las propiedades físicas. Esta dificultad se superó al introducir el concepto de valencia, lo cual fue posible, en parte, por criterios de elegancia lingüística y de imaginación visual soportada por fórmulas 'racionales' (desarrolladas, diríamos ahora). Sin pretender profundizar en un tema amplísimo y complejo, que ha sido bien estudiado, entre otros, por A. Rocke (2010) y Mary Jo Nye, podemos captar el poder de las imágenes para sugerir las 'valencias' y, a partir de ellas, las fórmulas sistemáticas que, a la vez, ordenan a las substancias por familias. Es de destacar especialmente la aportación de las fórmulas de Williamson, que 'hablan por sí solas'. El O vale por dos, el H vale por uno, aunque esto no llegara a formularlo él mismo (Figura 1).

H	CH_3
O	O
H	H

Figura 1. El poder de la imagen como vía para sugerir las 'valencias'.

La única excepción en esta dificultad es el comportamiento de los gases, pero entonces los conflictos aparecen en relación a la TCM, válida por igual para todos los gases ideales y demasiado 'física' para ser aceptada por los grandes químicos del XIX: un 'gas' con propiedades químicas es difícil de

[4] Es sumamente interesante la conversión del atomismo químico del siglo XIX en la teoría atómica del siglo XX. Es frecuente confundirlos, en la enseñanza, y esto genera algunos sinsentidos.

imaginar: ¿un mol de oxígeno en el aire, puede ser representado / pensado de manera diferente a como se piensa 'una sola molécula'? De nuevo, la reducción de la substancia q a las 'partículas' trae problemas, si no se parte de la premisa 'lo primero es el cq'. Si este es el punto de partida, las partículas y su existencia son secundarias; lo importante son las cualidades de relación / interacción de los materiales.

Los libros de q se refieren a Avogadro para explicar cómo se calcularon las masas moleculares, pero la HQ muestra hasta qué punto fue ésta una difícil aventura, resuelta por Cannizzaro a base de combinar muchos y diferentes datos químicos y también físicos, como las capacidades caloríficas de substancias de gas más o menos complejas. Y con 'imaginación visual' para inventar 'la valencia', con lo cual se pudieron construir las moléculas tan fácilmente, que importantes químicos como Kolbe denunciaron la reducción de la química a una aritmética infantil.

Un sistema químico

En el Congreso de Karlsruhe, en 1860, el primer congreso internacional de química, se consiguió diferenciar entre átomo y molécula, justificando las fórmulas y las ecuaciones que, cada vez más, representaban a los compuestos químicos orgánicos.

Las masa atómicas y las valencias pertenecen a los elementos y no a las substancias; unas y otras proporcionaron criterios para ordenar el conjunto de las substancias químicas ordenando los elementos que las forman. Destacamos aquí estos dos aspectos: una sofisticada relación entre todas las substancias de un mismo elemento, lejanamente emparentada con la preocupación de buscar, en la composición, el origen de las propiedades; y el criterio de ordenación, implícito, de colocar separados los elementos cuyas substancias simples van a reaccionar.

La gran pregunta de la química: ¿por qué reaccionan las substancias? recibe, en el sistema periódico, una primera respuesta, que se responderá con la emergencia de la termodinámica química a partir del trabajo de Gibbs y de Gulberg- Waage. Finalmente, cada substancia llegará a tener 'propiedades termodinámicas'; a partir de ellas, queda abierta la posibilidad de atribuir, a determinadas 'estructuras físicas', estas peculiares propiedades químicas.

Conceptos y 'maneras de actuar'

Este breve repaso histórico, elaborado como resultado de la pregunta 'qué es la química' formulada con intención didáctica, nos hace ver que la química es 'actuación sobre los materiales para transformarlos' y no una indagación sobre cómo son los materiales. Su objeto de estudio son las manipulaciones, no los átomos; estos últimos son importantes en cuanto que ayudan a pensar sobre los cambios. Por esto podemos establecer una correlación entre los conceptos básicos de la química que se enseña con algunas 'reglas' que se dan por supuestas, sin las cuales los químicos no podrían realizar su trabajo (ver Tabla 1).

Tabla 1. Las reglas del juego

Unas substancias (simples y compuestas) desaparecen y aparecen otras, porque, precisamente éstas, interaccionan entre sí.
Se conservan los elementos, los que hay que, en conjunto, forman todas las substancias conocidas. Se conserva la masa: se conserva la masa de los elementos
Las substancias reaccionan en proporciones fijas de masa, que determinan la magnitud 'cantidad de substancia de los elementos' o 'masa atómica' y de todas las substancias.
El cambio se puede representar mediante ecuaciones químicas en las que intervienen fórmulas para las substancias iniciales y finales. Se cuentan los átomos que intervienen (se conserva la masa), los enlaces (se conserva la energía) y las proporciones (cantidades de substancia).
Las propiedades de las substancias pueden relacionarse con su estructura interna. En el estado final, después del cambio, se agota el 'potencial químico' disponible. Este estado puede ser de equilibrio químico.

Estas reglas surgieron de las relaciones entre los cambios; a partir de ella se configuraron los conceptos y los símbolos que las representan. La hipótesis de este artículo es que esta perspectiva histórico-filosófica contribuye a comprender mejor lo que debería ser una química escolar orientada a adquirir competencias.

Los núcleos temáticos del CQ en la escuela, que 'contienen' hechos, lenguajes y representaciones

Este énfasis en la actividad de la cual emergieron las entidades químicas tiene consecuencias muy importantes. Una de ellas es constatar que algunos contextos de emergencia de conocimiento científico no se habían tenido en cuenta. Echeverría, 1995, desde una perspectiva de 'actividad científica', propone cuatro contextos en los que se desarrolla esta actividad: además de los ya tradicionales de descubrimiento y de justificación/ evaluación, incluye los contextos de aplicación y de enseñanza. Los cuatro contextos interaccionan en la dinámica científica y contribuyen, todos ellos, a establecer las finalidades que 'tiran' de este quehacer de intervención en los cambios que es costoso, en dinero y esfuerzos, pero que proporciona también indudables beneficios.

Nos interesa mucho destacar que el *contexto de enseñanza* es uno más de los que configuran la actividad científica, tal como Hannaway sugiere al considerar el 'origen didáctico de la química'. Identificar los temas de una 'química dedicada a educar' (que no pueden ser los mismos que conformarían una química para especialistas), ahora y aquí, adquiere la misma función, en el conjunto del quehacer científico[5].

[5] Queda por ver, en el futuro, si esta química escolar aporta nuevas ideas a la ciencia académica.

La ciencia ¿un 'libro' o 'una aventura humana?

En el libro de texto tradicional, los átomos y sus estructuras (presentadas de manera axiomática) son los protagonistas. En ellos se presentan los cambios químicos, como genérica 'reorganización de los átomos de los elementos que forman las substancias puras', convenientemente clasificados: orgánicos e inorgánicos, de ácido-base, oxidación–reducción, de substitución, de síntesis, de descomposición…; no aparecen cómo algo especial y sorprendente que se ha de ir conociendo poco a poco para llegar a comprenderlo.

De esta manera, se aleja al alumnado/ lector del mundo real: los átomos no se ven, los elementos tampoco, las substancias puras casi no existen en el mundo que nos rodea y la reorganización de los átomos puede asimilarse a un juego de "mecano" que, desde luego, no es un cambio químico (Merino et al., 2011). Se pierde la peculiar relación entre la parte y el todo que es propia de la química, porque el 'todo' de la química no es 'la reorganización', que es invisible para todos sino que es algo más sutil, que sólo se capta en la acción.

Si se empieza por mostrar cómo son los materiales porque, así, queda explicado su comportamiento, se pierde la motivación genuina que impulsa la tarea de cualquier químico, actual o del pasado; no son posibles preguntas genuinas. ¿Qué van a preguntar los alumnos, frente a una explicación de la cinética de las reacciones, de las interacciones entre ácidos y bases más o menos fuertes, de los cálculos de potenciales de las pilas… si no es cómo se calcula o cómo se resuelven los ejercicios? Sin preguntas genuinas no es posible actividad auténtica y, sin ella, tampoco se va a aprender de manera competente. Y los alumnos se quedan sin nada que hacer: ya está todo dicho, sólo queda estudiarlo.

Si, en cambio, nos interesan las acciones que permiten la gestión de los cambios químicos y no aceptamos la reducción de estos cambios a los físicos (Erduran, 2001), hemos de identificar las *buenas preguntas* que sostienen una narración sobre los cambios, que nunca acaba porque se abre constantemente hacia nuevos horizontes, en la cual los alumnos se sientan implicados.

Una mirada atenta a propuestas innovadoras de enseñanza de las ciencias sugiere cuál es el camino: el de los ejemplos paradigmáticos, pocos y trabajados a fondo. Las propuestas según esta orientación, que a menudo encuentran inspiración en los hitos en la historia porque mantienen abierta la pregunta filosófica *(¿qué es esto que enseño?*) son ya numerosas, aunque son más abundantes en física y ciencias naturales que en química (Viennot, 2008).

Nuestra propuesta es considerar que estos 'hechos paradigmáticos químicos' han de ser Cambios Químicos en los que el alumnado pueda intervenir, no especulaciones sobre substancias de las que sólo conocen la fórmula. Estos cambios, las reglas de juego de la intervención y los lenguajes de comunicación que generan son los Modelos Teóricos de la química escolar, que muestran el significado de las entidades químicas en el mundo de los alumnos.

Los Modelos teóricos

La mirada global a la 'tradición de las substancias' del apartado anterior permite afirmar que las entidades químicas son 'para actuar'. Lo han de ser también en la actividad química escolar, que ha de ser teórica, porque, indudablemente, la ciencia química lo es. Los modelos cognitivos de ciencia nos proporcionan un concepto semántico de 'teoría' que nos parece sumamente útil, porque muestra el significado que una teoría tiene en el mundo de fenómenos que le es propio.

Todas las personas (Gardner, 2000), tienen ideas, imágenes y lenguajes en sus mentes (representaciones mentales) que son importantes para ellos puesto que permiten dar sentido al mundo y a sus acciones en él; del mismo modo, los científicos piensan y actúan contrastando representaciones abstractas con la experiencia (Nersessian, 1992). Giere, en *Explaining Science* (1988), proporciona un Modelo Cognitivo de Ciencia (MCC) que es coherente con este enfoque. El método científico, según Giere, consiste en contrastar Modelos teóricos con los fenómenos del mundo en los cuales podemos intervenir con experimentos – hipótesis teóricas, y en establecer relaciones de similitud entre ellos. Con ello, proporciona un 'concepto semántico' de teoría científica que resulta sumamente útil para diseñar la enseñanza de actividad química. Lo es también su versión (hipotética) de 'racionalidad científica' y de 'realismo' (según la perspectiva de Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003; Merino et al., 2006, 2008). Todo ello hace posible que las entidades científicas, la experimentación y la representación abstracta de cómo es el mundo avancen apoyándose una en la otra (Koponen, 2006).

El concepto semántico de teoría científica nos parece muy relevante, a partir de todo lo que hemos ido diciendo hasta aquí. Destaca que las teorías han de tener significado en el mundo real y que, tal como las utilizan los científicos, dan lugar a un conjunto de 'hechos idealizados' de los cuales se habla tal como corresponde a las entidades de la teoría y que son, por ello, sus Modelos Teóricos. Los Modelos muestran en qué contexto fenomenológico tienen sentido las teorías y cómo se utilizan para intervenir en él y para explicar lo que pasa. Este conjunto puede ser descrito mediante axiomas y entidades (esto es lo que hacen los libros de texto), pero ni los unos ni las otras, sin los fenómenos de los que surgieron, tienen sentido.

Un significado específico para el 'Modelo' y 'Modelizacion'

El concepto de 'modelo' es uno de los más importantes para la investigación en la educación científica en los últimos años. Este concepto ha llevado a muchas publicaciones, especialmente en el campo de la enseñanza de la física (Gilbert y Boulter, 2001). También encontramos Duschl (1990) la contribución de especial interés, ya que hace hincapié en la necesidad de que la educación científica es "teórica" y, al mismo tiempo, muestra la necesidad de que las teorías tienen un significado para los estudiantes.

Los conceptos fundamentales de la adquisición de MCC, para nosotros nos proporciona un significado específico y nos permite introducir los 'Modelos Teóricos' para diseñar la química escolar y escoger los temas 'clave' de la química en la escuela, de manera que éstas estructuren las actividades escolares (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003).

Al desarrollar una propuesta de enseñanza es necesario tener una correcta representación de la disciplina (Dahncke et al., 2001) para enseñar a actuar y a pensar de manera teórica, desarrollando lenguajes apropiados para comunicar la acción y el pensamiento. Parece razonable que la química escolar, diseñada y conducida por el profesorado, se ocupe, a la vez, de los hechos y de la teoría, pero no puede hacerlo reproduciendo la historia. Los temas seleccionados para desarrollar actividad escolar no surgen de interés de los alumnos o al azar, sino que han de ser 'hechos químicos idealizables', que correspondan al 'Modelo Teórico Cambio Químico' (MCQ; Merino, 2009) teniendo en cuenta que, para ello, se ha de trabajar en los diferentes 'campos estructurantes' que la tradición química permite identificar. En efecto, no se trabaja igual si se trata de reacciones entre gases o entre disoluciones acuosas; si se hace en una industria o en el laboratorio; si se trata de la química de los organismos o de la cocina o de los fenómenos geológicos...aunque, en todos estos 'campos' las entidades y reglas de la química toman significado.

El MCC corresponde a una manera de ver el mundo según los químicos que, como muestra la historia, se dedican de manera prioritaria al Cambio Químico (Tabla 1). Determina la manera de hablar, de representar y de intervenir en cambios químicos y, para ello, ayuda a identificar 'conjuntos de fenómenos relevantes' que puedan ser representados por un 'Hecho Ejemplar Químico' en el cual se pueda intervenir. Los objetivos propios de la escuela añaden, a esto, otros requisitos; el principal es que estos fenómenos sean relevantes para los estudiantes y permitan formular 'buenas preguntas' que les motiven para la acción

- A partir de lo que se ha dicho hasta aquí, tenemos ya algunas pistas para identificar cómo y cuáles van a ser estos hechos:
- Han de permitir intuir los 'elementos' (por ejemplo, las transformaciones de la madera cuando se calienta y cuando se quema).
- Han de permitir la intervención (electrólisis, calentar, identificar los productos de una reacción y no sólo lo reactivos, controlar los resultados).
- Requieren una mirada cuantitativa de la cual derivar las nociones de átomo y la magnitud 'cantidad de substancia' (el aumento de masa del hierro cuando se quema, que permite relacionar las masas de reacción del oxígeno y del hierro).
- Sugieren el problema de la gestión de la energía y de su relación con el 'potencial de cambio químico' (las reacciones espontáneas que se producen de manera irreversible o en una pila electroquímica).
- Contribuyen a identificar y caracterizar algunas substancias simples y algunas sustancias compuestas (C, H, N, O en primer lugar, los elementos de la vida).
- Proporcionan una noción de 'sistema general de la química' en relación al Sistema Periódico (y la pregunta sobre las diferencias entre substancias que son las que provocan el cambio).
- En conjunto, abarcan los principales 'campos' de la química general (hay ya diversas propuestas; está claro que no es lo mismo tratar fenómenos como la combustión, en sistemas abiertos en

los que intervienen gases, que reacciones en solución acuosa, como las de ácido-base o las que tienen lugar en la cocina/ alimentación).

La filosofía de la actividad química y la historia de la química nos permiten identificar los momentos de emergencia de los conceptos básicos de la química y empezar así, con la intuición o Idea, dejando la formalización para el momento en el cual sea necesario enfrentarse a situaciones complejas, cosa que va a ocurrir después de haberse familiarizado con la manera de hacer y pensar de la química. Esta 'Idea' es la que se repite, una y otra vez, al trabajar diferentes 'Hechos' hasta que se conviertan, todos ellos, en 'Modelos' del Cambio Químico'.

Esta manera de entender lo que es un 'Modelo' (para la actividad) invita a intervenir en cambios en los que se identifican los rasgos esenciales de la química de las substancias según un proceso de 'Modelización' que va proporcionando una visión de conjunto del cambio químico (CQ) que es ya teórica antes de llegar a estar formalizado.

Estrategias de modelización.
Máquina nomológica. Racionalidad narrativa

¿Cómo surge y se desarrolla, en la escuela, esta mirada que es previa a las entidades que, finalmente, la articularán? ¿Cómo nos ayuda la filosofía?

Otra consecuencia que se desprende de una mirada filosófica sobre la actividad química es la importancia que cobra la axiología. Para desarrollar cualquier actividad humana es necesario conocer con qué criterios y cómo se evalúan las acciones y los valores que intervienen en ella. Según Echeverría (2022) conviene indagar los presupuestos axiológicos ligados a las acciones científicas: definir, observar, medir, enunciar, experimentar, publicar, axiomatizar, aplicar... en lugar de valorar únicamente los resultados: las definiciones, los enunciados, las inferencias, las demostraciones, las aplicaciones. Diremos que *los agentes de la actividad química escolar (alumnos y profesores) definen, explican, argumentan, experimentan… en clase, en el campo, en el laboratorio, en casa… mediante instrumentos que saben manipular, para modelizar los fenómenos, …con la finalidad de aprobar, comprender, preparar el futuro, estudiar una carrera científica, pasar el rato con la consecuencia de haber aprendido algo que se considera necesario (la química).*

Todas y cada una de estas acciones que, en conjunto, constituyen la actividad química escolar, debe poder ser llevada a cabo conociendo los criterios que hacen que esté bien o mal. No podemos entretenernos en esta faceta de la ciencia escolar, pero es importante tenerla en cuenta para no olvidar que la manipulación y los instrumentos, por ellos mismos, introducen significado en los fenómenos si se utilizan de manera reflexiva (cognición distribuida).

La actividad escolar, a diferencia de la actividad científica, debe diseñarse con cuidado, a pesar de que la realidad del aprendizaje de cada cual escape a esta pretendida previsión. Las Unidades Didácticas tienen esta función y su diseño ocupa cada vez más la atención, especialmente en referencia a su relación con el desarrollo del pensamiento científico: mediante la modelización y la fundamentación filosófica que proponen.

Las unidades didácticas

En la escuela, las condiciones de emergencia de nuevos conocimientos las marca, dentro de lo posible, el diseño de las unidades didácticas[6] (en la tradición francófona o anglosajona pueden ser abordadas como: *topic-oriented sequences for teaching science*, TLS)(Méheut, 2004). La investigación en DC ha generado propuestas muy interesantes de estrategias docentes, fundamentadas en la filosofía, aunque continúan siendo más abundantes las que se refieren a la física. En IJSE (2004, special issue), se destacan las características que deben compartir: entrelazar la comunidad científica y la perspectiva de los estudiantes. Forman parte, en conjunto, del proceso de 'transposición didáctica' (Chevallard, 1991) del conocimiento científico al conocimiento que se enseña.

Puede parecer una ilusión pretender que el 'Modelo Cambio Químico' sea el crisol de las entidades químicas y no al revés. Aceptar este enfoque requiere, como se ha ido diciendo, que demos prioridad a la acción reflexiva sobre los fenómenos, dirigida hacia la identificación de relaciones entre ellos a partir de las 'reglas' que establecimos (Cuadro 1). Se han hecho otras propuestas que consideramos equivalentes, derivadas de las propuestas de Nancy Cartwright (1999) y desarrolladas por Sensévy et al. (2008). Estos autores se refieren a la 'máquina nomológica' para establecer la relación de mutua dependencia entre las leyes, los modelos y los contextos que también defendemos aquí.

Este planteamiento, en la interface de la didáctica, la filosofía y la historia de la química, proporciona como criterio para identificar propuestas docentes bien fundamentadas, que se concede atención a fenómenos concretos, los cuales se transforman, ellos mismos, en modelos de otros (Gilbert y Treagust, 2009); y no se insiste en los átomos y moléculas 'reales' (serían cuánticas y no nos interesan en este momento) sino que se trabaja a nivel 'meso'[7], sabiendo que tomamos como unidad/ referencia el mol, es decir, operamos con millones y millones de partículas que, en conjunto, se comportan de manera 'similar' a como lo hacen las substancias en los fenómenos en los cuales intervenimos. Este nivel 'meso' ha sido bien fundamentado en la enseñanza de la física de los fluidos y parece ser el más apropiado para una química escolar que introduce entidades relacionadas con la acción sobre los fenómenos en la escuela, que nunca opera sobre átomos y moléculas 'reales' (Besson et al. 2008).

El proceso de modelización

Lo que se espera conseguir mediante el proceso de modelización no es relacionar los fenómenos a nivel 'macro' con los átomos y moléculas a nivel 'micro'. Lo que se pretende es formular buenas preguntas sugeridas por los cambios químicos, aunque la respuesta sea incompleta y los lenguajes, aún balbuceantes; ellas sostienen la actividad química escolar y hacen posible la competencia en química 'para todos'.

---

[6] Es más, la didactología es una ciencia del diseño, que debe adaptarse a finalidades sociales y a intereses del alumnado, sin perder de vista los conocimientos emergentes que se prevén y que, finalmente, se alcanzan.

[7] Sin embargo, este nombre puede ser problemático puesto que se llama 'mesoquímica' a la química nanotecnológica.

Se han de asegurar tres condiciones para que sea posible recorrer este camino.

La primera de ellas, de la que ya hablamos, es que se trate de fenómenos que se puedan controlar gracias a la intervención experimental de los alumnos y, claro está, que estén relacionados entre ellos (por ejemplo, calentar pan, azúcar, madera… y pesar antes y después; quemar madera, quemar un cacahuete… y comparar; encender una vela, apagarla…)

La segunda es que los fenómenos puedan relacionarse entre sí y ser representados a nivel abstracto. Esta reflexión incluye los criterios para evaluar las acciones, que corresponden a sistemas de valores diferentes que se han de hacer transparentes a lo largo del proceso y que tienen una dependencia del contexto que ha de ser explorada más atentamente, como veremos en el apartado siguiente.

La tercera se refiere al lenguaje: se ha de poder 'hablar' de los fenómenos seleccionados, mediante diversidad de lenguajes, sin olvidar el simbólico (Roth, 200) Partiendo de las consideraciones históricas, creemos que el lenguaje de los alumnos debe desarrollarse en dos sentidos: lógico y narrativo. El lenguaje lógico se vehicula a través del pensamiento matemático, que desde el primer momento opera sobre los resultados de las mediciones que se realizan con instrumentos 'transparentes' (es decir, cuyo funcionamiento contribuye a generar el 'modelo') (García, 2009). La química, si sólo es cualitativa, es muy difícil de estructurar; las propiedades de las substancias son demasiado diversas y no mantienen relaciones claras entre ellas. Lo vimos ya al referirnos a su desarrollo histórico y a la aportación de Lavoisier y Dalton. Pero, como también vimos, la química no sólo son cálculos; es una 'historia' en la que intervienen personas que piensan sobre los cambios con los que se comprometen. Se necesitan otros 'lenguajes' más cercanos a la historia de la química que está viviendo el alumnado. El lenguaje narrativo opera sobre el contexto, transformándolo en algo que tiene sentido para el grupo y que merece la pena ser estudiado y medido. Las orientaciones sobre el uso de la argumentación en el proceso de modelización (Jiménez y Erduran, 2009) proporciona al lenguaje la dimensión discursiva que reclama una actividad genuina en la cual intervienen diferentes actores que deben llegar a acuerdos y que se ayudan para llegar a elaborar explicaciones convincentes.

Estamos dando a 'modelizar' un significado algo diferente al que se le da en la literatura didáctica, pero ambos nos parecen compatibles, como se desprende del diferente sentido que damos al Modelo Teórico en Química. En efecto, es frecuente 'modelizar' las entidades químicas: se modeliza el átomo, las estructuras de las substancias, el equilibrio químico, los enlaces… es decir, se modeliza la interpretación de los cambios. Consideramos que la filosofía de la química realza la importancia de las preguntas primigenias, las que se formulan aún desde fuera de la química, la que permite ver, en los fenómenos, aquello que va a hacer necesarias a las entidades químicas. Y esta formulación requiere, a la vez, un conjunto de fenómenos sobre los cuales se piensa (se representa de manera abstracta) y cuyas regularidades se comunican con lenguajes adecuados, que irán siendo teóricos al especializarse. Un 'conjunto de cambios' que lleguen a ser un 'Modelo teórico' deberá tener estas tres dimensiones, reclamadas tanto por Guidoni, al referirse al sistema cognitivo humano, como por Toulmin (1972) al identificar las características de los conceptos científicos.

Dinámica del conocimiento químico escolar.
Los problemas, según Toulmin

Las TLS funcionan según estructuras didácticas que concretan de maneras diferentes los 'escenarios' en los cuales se plantean y resuelven los problemas que deberán impulsar el conocimiento escolar sobre el cambio químico (Linjse & Klaasen, 2004). Para ello se han de poder formular preguntas genuinas, 'buenas preguntas' que transforman el fenómeno en 'problema'.

La pregunta inicial filosófica ¿qué es la química? incluye el interés por su desarrollo a lo largo del tiempo. A diferencia de la química en el libro, la actividad química de los estudiantes también se está desarrollando y se proyecta hacia un futuro incierto. Hemos visto ya que los conceptos científicos sólo son independientes del contexto en los libros y podemos suponer que, en cambio, en las interfaces entre el pensamiento, la acción y el lenguaje en un proceso modelizador, se va a generar una gama de significados difícil de evaluar. ¿Cómo nos ayuda la H y F de la química a gestionar la dinámica del conocimiento químico escolar abierto al futuro incierto y admitiendo la imposibilidad de alcanzar unos mismos resultados para todos los alumnos? Veremos que nos permite identificar las situaciones 'problemáticas' que ponen a prueba los conocimientos de los estudiantes ('problemas toulminianos') y que nos proporciona una nueva consideración de lo que van a ser los conocimientos finales de nuestro alumnado (perfiles conceptuales, según Mortimer).

La resolución de problemas para generar criterio: las 'buenas preguntas'

Nos ha resultado útil, iluminadora, la comparación que S. Toulmin establece entre la dinámica científica (variabilidad conceptual) y la evolución de las especies biológicas (variabilidad genética) (Toulmin, 1972, capítulos 2 y 3) que enriquece su propuesta sobre la argumentación, que ha sido ya ampliamente utilizada en didáctica de las ciencias. Para Toulmin, como para nosotros y nuestros alumnos, el conocimiento científico es dinámico y tiene que ver con 'problemas' que, para llegar a resolverse, requieren emergencia de nuevas ideas. Estos Problemas surgen por la diferencia entre los Ideales explicativos de los científicos / (alumnos) y sus capacidades. Estos ideales serán tanto más arriesgados y valientes cuanto más culta, creativa e imaginativa sea una sociedad/un grupo de alumnos. Son ellos los que impulsan la aventura humana de 'conocer', los que cambian paradigmas y producen emergencias de nuevos valores e ideas.

Toulmin identifica diferentes situaciones que pueden dar lugar a problemas *si se formulan las preguntas adecuadas*. Son las siguientes:

- la extensión de nuestros procedimientos explicativos actuales a nuevos fenómenos inexplicados.
- el mejoramiento de las técnicas/ explicaciones para abordar fenómenos conocidos.
- la integración intradisciplinaria de las técnicas (adaptar determinadas ideas a otras, reorganizar los conceptos).

- la integración interdisciplinaria de técnicas de ciencias vecinas (ampliar los significados, generar nuevos conceptos inclusores).
- la resolución de conflictos entre ideas científicas e ideas extracientíficas que se derivan de actividades humanas de otro género y son totalmente legítimas.

Toulmin hace notar que todo concepto científico tiene tres aspectos distinguibles : lenguaje y otros recursos simbólicos, representación (sus ecuaciones básicas, sus métodos de representación gráfica) y aplicación[8]. Los problemas toulminianos pueden resolverse modificando el lenguaje, las técnicas de representación o las aplicaciones técnicas de los conceptos o estos tres aspectos a la vez. Así, las novedades conceptuales que surgen pueden implicar cambios en cualquiera de estos aspectos o en todos ellos; raramente involucran uno solo. Toulmin nos recuerda también la importancia de la solución tecnológica, que siempre queda algo relegada en la ciencia escolar.

Con ello se establecen 15 tipos de problemas que producen variabilidad conceptual en la historia. Al ser 'transpuestos' a la actividad escolar, amplían la tipología de problemas con la que se enfrentan habitualmente los estudiantes y los preparan a enfrentar con criterio nuevas situaciones que permitirán generar nuevos conocimientos a lo largo de la vida.

El diseño de estos problemas toulminianos requiere identificar situaciones en las cuales puedan formularse preguntas genuinas. Por ejemplo:

- Una descripción: ¿Cómo...? ¿Dónde...? Quiénes...? ¿Cuántos...? Qué pasa? ¿Cómo pasa?
- Una explicación causal: ¿Por qué...? ¿A causa de qué...? Cómo puede ser que...?
- Una comprobación: ¿Cómo se puede saber...? ¿Cómo lo saben? ¿Cómo se hace...? ¿Se puede demostrar que...? ¿Son posibles estos resultados?
- Una generalización: ¿Qué es..? ¿Pertenece a tal grupo? ¿Qué diferencia hay...? ¿Por qué... según la teoría?
- Una predicción: ¿Qué consecuencias...? ¿Qué puede pasar? ¿Podría ser? ¿Qué pasará si...?
- Gestión: ¿Qué se puede hacer para...? ¿Cómo se puede resolver...? ¿Qué medidas deberían tomarse..?
- Valoración, opinión: ¿Qué piensas de esta cuestión?¿Qué es lo más importante, para ti?

Es fácil ver que una química 'de libro' no permite estas preguntas ni, por lo tanto, incita a buscar las respuestas. Si no se trata de dar la explicación correcta, sino de la actividad de explicar no se pretende apelar a argumentos formales, demostrativos; y aquí se sitúa y toman sentido la importancia que se da actualmente a la argumentación en la clase de ciencias, que debe corresponder, eso sí, a las buenas preguntas que caracterizan a la química...no a sus respuestas.

---

[8] Las relaciones con las sugerencias de Guidoni (1985), sobre el sistema cognitivo humano son evidentes.

Todo ello perfila una 'química en contexto', guiada por preguntas sobre el cambio químico, muy diferente a su enseñanza tradicional. Las situaciones problemáticas que pretenden abrir la mente hacia nuevas ideas se plantean en diferentes contextos: los que son propios de las aulas y del conocimiento académico; los que apelan a la responsabilidad ciudadana; los que incitan a la opinión y tomar decisiones (Gilbert, 2010). Las soluciones dependen también de estos contextos y no pueden formularse con un único lenguaje: algunas de ellas desencajan la coherencia del pensar, actuar y experimentar (cuando esta coherencia corresponda a un modelo naif) mientras que otras hacen posible un nuevo encaje para una nueva concreción del 'Modelo-Hecho; algunas solucionan temas 'académicos' mientras que, en otras, sólo la opinión (argumentada) es importante.

Diferentes niveles en la evolución de los conocimientos escolares: perfiles conceptuales

La filosofía de la química pone en evidencia las lagunas o ambigüedades entre diferentes explicaciones que sólo cuando se conoce bien el fenómeno se pueden solventar. Por ejemplo, el conocimiento químico se formula en términos mecanicistas: átomos, enlaces, estructuras, choques…pero estos términos no consiguen captar la esencia del cambio químico, que continúa siendo inexplicable si se hace sólo en términos de partículas que se conservan. Los símbolos y las fórmulas están muy lejos de ser 'reales' por más que así parecen a muchos alumnos; los científicos los utilizan como si lo fueran, para sostener su pensamiento y haciendo gala de su imaginación visual, porque hay algo real que está cambiando y que les interesa. El significado está pues en la interacción de su lenguaje / teorías con lo que intentan conseguir.

Si utilizamos esta constatación para interpretar la competencia química que alcanzan los alumnos al terminar el curso, debemos aceptar estas ambigüedades, especialmente conflictivas si no hay un fenómeno de referencia que contribuya a dar sentido a los términos, que se ven obligados a utilizar por exigencia de los currículos. Trabajar en contexto y ampliar la tipología de problemas va a aumentar la diversidad de ideas y de lenguajes para expresarlas, así como los significados que tendrán para ellos los términos científicos.

Mortimer (2007) se refiere a 'perfiles conceptuales' para caracterizar esta diversidad de significados que tienen los términos científicos para los diferentes alumnos, al aplicarlos en diferentes contextos. Como ejemplo, analiza los significados de una de las entidades más difíciles de explicar en química: la molécula. Aparentemente, la definición que se da de ella es sencilla: es la parte más pequeña de una substancia que conserva sus propiedades. Si se representa mediante una fórmula está claro: si se dividiera más tendríamos átomos separados y ya no aquella substancia concreta. Ahora bien, una sola molécula de agua 'real' no tiene las propiedades del agua. ¿Cuantos millones de moléculas 'reales' necesitamos para tener estas propiedades? ¿Qué propiedades tiene una sola molécula de agua que permita sospechar que tiene que ver con el agua? También cuesta comprender la relación entre el agua y el soluto, en una disolución acuosa. Si la diluimos mucho ¿puede ser que algunas porciones de la disolución contengan una/ alguna molécula del soluto y las otras, no?

Estos y otros problemas con el concepto de molécula como 'partícula' no se tratan, en la enseñanza; la representación gráfica de la molécula como fórmula o como un conjunto de bolitas parecen sufi-

cientemente explicativas (una molécula es 'esto') y substituye al esfuerzo de verla en la manera de comportarse la materia. Sin embargo, los diferentes significados de 'molécula a lo largo del tiempo se mantienen de manera más o menos explícita, tanto en el imaginario de los químicos como en el lenguaje común. Todos ellos formarán parte del 'perfil conceptual' de 'molécula'

Mortimer (2007) identifica cuatro zonas en este perfil: la molécula como algo que lleva asociado un 'principio' intangible; la molécula portadora de propiedades (substancialización de las propiedades); la molécula como conjunto de átomos estructurados; la molécula como ecuación matemática de la cual se desprenden consideraciones termodinámicas que se refieren a las posibilidades de interacción y no a propiedades substanciales. El concepto 'molécula' incluye algo de todas estas zonas, y confirma que, lo importante, no es 'fosilizar' las entidades químicas (es decir, establecerlas o definirlas con exactitud, definitivamente) sino mantenerlas vivas para dar razón de las interacciones y de las operaciones de la química.

Si se identifican estas diferentes zonas de significado en las entidades químicas que se introducen en la enseñanza y se enseña a transitar por ellas, los alumnos adquirirán también criterio para saber en qué contexto utilizarlas, más allá de los muros de la escuela. Las 15 tipologías de problemas que propone Toulmin permiten generar situaciones problemáticas en las cuales tengan vigencia diferentes zonas de significado para un mismo concepto, sin que ninguna de ellas pueda ser considerada 'falsa' .

La piedra de toque, como ya se ha dicho, es que pueda ser contrastada con la intervención/ gestión en fenómenos químicos (mediante operaciones, representaciones y lenguajes).

REFLEXIONES FINALES

La química puede ser pensada por la filosofía según un enfoque específico, que no la reduzca a la 'filosofía de la física' (Bensaude-Vincent, 2008). Siguiendo a Witgenstein, se trata de acercarse a lo que hacen (y han hecho) los químicos y preguntarse sobre algo que quizás ellos no se plantean, pero que va a dar valor de auténtico conocimiento, genuino y específico, a sus 'operaciones' en el laboratorio. Este campo de estudio se ha abierto recientemente y muestra un panorama apasionante, que pone en cuestión muchas de las propuestas docentes en las aulas actuales.

El esfuerzo de identificar experiencias genuinas de las cuales surgen las preguntas 'auténticas' que dan sentido a las entidades químicas que se enseñan en la escuela nos ha aproximado a la filosofía e historia de la química y ha encontrado en ellas ideas maravillosas e inspiración para innovar la enseñanza de la química.

El origen de la química fue didáctico y nosotros construimos una química escolar cuyo destino es también didáctico. Se produce así una 'fertilización cruzada' entre las tres disciplinas que, creemos, permite algo así como una 'teoría de los contenidos a enseñar' según los planteamientos iniciales de y de la 'transposición didáctica' (Chevallard, 1991); sin embargo, al centrar la enseñanza en las competencias derivadas de la acción y al dar importancia al conocimiento en contexto, la ciencia escolar se aleja más que nunca de la ciencia académica.

Referente a la relación entre FQ, HQ y EQ

La relación entre FQ y HQ y la EQ es sumamente compleja. Requiere una justificación historiográfica, para librarse del anacronismo y también de una perspectiva filosófica específica, interesada en la actividad experimental y cognitiva de los científicos. Trabajar en esta interface es preguntarse por 'los saberes' y esta pregunta es relevante en la sociedad del conocimiento. Si se plantea desde las diferentes disciplinas del currículo escolar, que tienen, todas ellas, la finalidad de proporcionar 'saberes básicos' con los cuales poder abordar problemas y compartir la cultura propia de nuestra sociedad, puede generar una perspectiva de conjunto que no sería posible en otros foros.

La ciencia escolar aparece pues como un auténtico contexto de actividad científica que tiende un puente entre los constructos científicos elaborados en las comunidades académicas y los saberes incorporados ya a la cultura general, que adolece de una presencia insuficiente de las ciencias de la naturaleza. Las iniciativas sociales de divulgación de las ciencias a través de museos, exposiciones, talleres... están reclamando este cambio en la escuela para poder ser tan eficaces como sería de esperar.

Todo ello muestra, a la vez, la importancia de la historia y filosofía de la química para los profesores / diseñadores de currículo de química y la fortaleza de la nueva disciplina 'didáctica de la ciencias', que debería ser la 'ciencia propia de los profesores de ciencias' a partir de la cual se consolide una 'ciencia del ciudadano que, hasta ahora, ni había existido ni nadie había sospechado su existencia. El diseño de la ciencia escolar necesita de las preguntas 'filosóficas' y de la experiencia humana de construir de conocimiento sobre el mundo real.

En relación a la química escolar

La OCDE recomienda que los alumnos adquieran 'competencias de pensamiento científico' como resultado de la intervención docente[9]. Simplificando, podemos decir que ahora, para enseñar química, debe desarrollarse actividad química genuina, porque sólo en la acción se pueden evaluar las competencias. Hemos intentado identificar situaciones que proporcionen a los alumnos los objetivos propios de la química, sus procedimientos explicativos y les permitan aprovechar la experiencia química que permite intervenir en el mundo.

Hemos destacado la importancia del escurridizo 'elemento', transformado en átomo al atribuirle una masa que contribuye a seguirle la pista en el nivel meso en el que nos gustaría situarnos. De la misma manera, los no menos escurridizos 'iones' toman sentido al vincularse al agua y a la conductividad, las substancias recuperan su carácter abstracto (porque pocas veces las encontramos 'puras' en la naturaleza) y las fórmulas se utilizan como complicadas metáforas que sólo toman sentido cuando se contrastan con experimentos reales.

Hemos intentado recuperar lo que difícilmente se explica, porque es irreductible a otras disciplinas, los potenciales químicos de las substancias y, en general de muchas de las propiedades que deben

[9] La evaluación PISA , por ejemplo.

gestionarse al intervenir en los sistemas químicos: así es el mundo químico. Con todo ello, hemos intentado abrir un espacio en el que se formulen buenos problemas (sin olvidar ningún contexto relevante) y en el cual sea posible la actividad, tan autónoma y autoevaluable como sea posible, de profesores y alumnos.

Referente a los Modelos Teóricos y al lenguaje

La historia, interrogada por buenas preguntas que buscan identificar los métodos que hicieron posible su enseñanza, proporciona una interesantísima información sobre la formación y el significado del lenguaje científico. Muestra que las dos racionalidades: lógica y narrativa, tienen su función en el desarrollo de las disciplinas, especialmente en los momentos en los que éstas fueron jóvenes; la 'narrativa' marca el 'tempo' y proporciona el significado y la 'lógica' consolida lo que debe ser recordado, una vez ha pasado por el tamiz de la matemática la necesaria experiencia cualitativa. Todo ello justificaría, si fuera necesario, lo que es una evidencia: que no se puede introducir la química en la escuela elemental a base de fórmulas y de definiciones rígidas, ni tan sólo si éstas van a la par de experimentos igualmente académicos. La FQ nos dice por qué: estos lenguajes fueron el resultado de muchos años de reflexión, gracias a los cuales se refinaron tanto los lenguajes (metafóricos) iniciales como las representaciones abstractas y los experimentos; y al no poder prescindir de este aspecto evolutivo debemos recrearlo, de alguna manera, en la escuela.

Se ha discutido mucho sobre la relación macro-micro, en química, y la función de los símbolos en ella. La noción de 'Modelo Teórico' como teoría-guía que mantiene la emergencia de conocimiento en una determinada tradición (porque es, a la vez, experiencia, representación y lenguaje) sugiere más bien que la Química opera un nivel en el cual los átomos 'químicos', a pesar de no confundirse con las substancias, están mucho más vinculados a los fenómenos reales y buscan en ellos su sentido. Este nivel ofrece oportunidades de actividad química y requiere desarrollarla en algunos sistemas químicos, los que construyen 'campos estructurantes' del Modelo Teórico.

La cultura científica se propone actualmente como una condición para ejercer una ciudadanía responsable y para proporcionar a cada cual un espíritu crítico que asegure a todos un fondo común de conocimientos como un 'cortafuego' de lo irracional. La *Química para todos* no puede dejar de formar parte de esta propuesta, y sólo lo lograremos si los lenguajes y los modelos que utiliza son comprensibles y útiles porque tienen sentido en el mundo real de las personas.

Bibliografía

Bensaude-Vincent, B. (2008). *Matière à penser. Essais d'histoire et de Philosophie de la chimie*. Press Universitaires de Paris Ouest: Paris.

Besson, U., y Viennot, L. (2004). Using models at the mesoscopic scale in teaching physics. Two experimental interventions in solid friction and fluid statics. International *Journal of Science Education*, 26 (9), p. 1083- 1110.

Buty, C., Tiberghien A., y Le Marechal, J. (2004). Learning hypothess and an associated tool to design

and to analyse teaching- learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26 (5), 579-604.

Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique*. Grenoble: La Pensée Sauvage.

Clément J., Brown, D., y Zietsmav, A. (1989). Not all preconception are missconcetions: Finding anchoring conceptions for grouding instruction on students'intuitions, *International Journal of Science Education*,11 (5), 554-565.

Dahncke, H., Duit, R., Gilbert, J., Östman, L., Psillos, D. y Pushkin, D. (2002). Science Education versus Science in the Academy: Question, discussion, perspectives. In Behrendt, H., Dahncke, H., Duit, R., Gräber, W., Komorek, M., Kross, A. y Reiska, P. (eds.). Research in Science Education – Past, Present, and Future, (pp. 43-48) Netherland: Springer.

Duschl, R. (1990). *Restructuring Science Education. The Importance of Theories and Their Development*, New York: Teachers College Press.

Echeverría, J. (Ed.)(1995). El conocimiento científico y la práctica científica. En 'Filosofía de la Ciencia, (pp. 141- 160). Madrid: Akal.

Echeverría, J. (2002). Ciencia y valores. Destino: Barcelona.

Furio, C., Azcona, R., y Guisasola, J. (1999). Dificultades conceptuales en la enseñanza del concepto de cantidad de substancia y de mol. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3), 359- 376.

Giere, R. (1988). *Explaining Science. A Cognitive Approach*, Chicago: University of Chicago Press.

Giere, R. (1991). *Understanding Scientific Reasoning*, New York: Holt, Rinehart & Winston.

Gilbert, J.K, y Boulter, C.J. (1998). Learning science through models and modelling. In D. Gabel (Ed.), *International Handbook of Science Education* (pp. 187- 203).

Guidoni, P. (1985). On natural thinking. European Journal of Science Education.

Goupil, M. (1991). Du flou au clair. Histoire de l'affinité chimique. Editions de C.T.H.S.: Paris.

Hacking, I. (1983) *Representing and Intervening*, Cambridge University Press, Cambridge.

Erduran, S. (2001). Philosophy of Chemistry: An emerging field with implications for chemistry education. Science & Education, 10 (6), 581- 593.

Erduran, S. (2007). Bonding epistemological aspects of Models with curriculum design in acid-base chemistry. En 'Investigar en la enseñanza de la química: Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar'. Izquierdo, Caamaño, Quintanilla, eds., pp. 41-72. Publicaciones UAB: Cerdanyola.

Izquierdo, M., Adúriz-Bravo, A., *Contributions of the Cognitive Model of Science to Didactics of Science.*

Izquierdo, M., Adúriz-Bravo, A. (2003). 'Epistemological Foundations of School Science', *Science & Education*.

Kermen I., et Méheut, M. (2008). Mise en place d'un nouveau programme à propos de l'évolution des systèmes chimiques: impact sur les connaissances professionnelles d'enseignants. *Didaskalia*, 32, 77-116.

Kragh, H. (1987). An introduction to the historigraphy of Science Crítica: Barcelona.

Jimenez-Aleixandre, M.P., Erduran, S. (2008). Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research.

Linjse, P., Klaasen, K. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching- learning sequences? Int.J.Sci.Educ., 26 (5), 537-554.

Merino-Rubilar, C. and Izquierdo-Aymerich, M., (2011). Aportes a la modelización según el cambio químico, *Educación Química* 22, [3], 212-223, 2011.

Merino-Rubilar, C., Izquierdo-Aymerich, M. and Arellano, M. (2008). Argumentation, an essential component of the modelling process in chemistry: An approach, *Journal of Educational Thought* 42, [2], 207-228.

Merino-Rubilar, C. (2009). Aportes a las modelización del cambio químico escolar. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.

Mortimer, E., Amaral, Lo. (2007). Conceptual profiles: a research program on teaching and learning scientific Concepts (molecule). In 'Investigar en la enseñanza de la química: Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar'. Izquierdo, Caamaño, Quintanilla, eds., pp. 91-113. Publicaciones UAB: Cerdanyola.

Nersessian, N. (1992). 'How do Scientists Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science'. In R. Giere (ed.), *Cognitive Models of Science*, University of Minnesota Press, Minneapolis.

Rocke, A. J. (2010). *Image & Reality*. The Chicago University Press.

Roth, W. M. (2006). Semiotics of chemical inscriptions.

Sanmartí, et al. (1995). The substantialization of properties in pupils thinking and in the History of Science. Science & Education, 4: 349- 369.

Solsona, N., Izquierdo, M. & De Jong, O. (2001). 'A Study of the Evolution of Students' Knowledge About Chemical Reaction', *Journal of Science Education* 2(1), 44- 48.

Thagard, P. (1992). Conceptual Revolutions. Princeton University Press.

Toulmin, S. (1972). La comprensión humana. Alianza Universidad: Madrid.

Viennot, L., ed. (2008). Didactique, Épistemologie et Histoire des Sciences. PUF: Paris.

Wittgenstein, L. (19953-1997). *Investigacions Filosòfiques*, Edicions 62, Barcelona.

Capítulo 2

UNA NOCIÓN DE MODELO ÚTIL PARA LA FORMACIÓN DEL PROFESORADO DE QUÍMICA

Agustín Adúriz-Bravo[1], **Martín Labarca**[2] y **Olimpia Lombardi**[1]
[1]Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias, Argentina,
aadurizbravo@cefiec.fcen.uba.ar
[2]Universidad Nacional de Quilmes, Instituto de Estudios sobre Ciencia y Tecnología,
Argentina, mglabarca@unq.edu.ar

Frente a la imagen tradicional de ciencia, que la identifica con sus *resultados* tal como cristalizan en los textos escritos, hoy se considera que la ciencia es primariamente un fenómeno social que involucra múltiples aspectos. En efecto, la ciencia es una actividad heterogénea tanto respecto de su objeto de estudio como en relación con sus ámbitos de interés. No existe *la* ciencia: hay biología, física, química y demás disciplinas científicas. E incluso cada una de ellas se despliega en un enorme abanico de subdisciplinas específicas: no hace lo mismo el biólogo molecular que el biólogo evolutivo, no estudia los mismos fenómenos la física de partículas que la termodinámica macroscópica. Pero esta clasificación, según el objeto de estudio se superpone a la frecuentemente olvidada distinción, transversal a la anterior, entre los diferentes aspectos de la actividad científica; por ejemplo, resulta manifiesta la diferencia entre la actividad teórica y la actividad experimental. Y si bien muchos suelen ignorarlo, un aspecto central del fenómeno social llamado "ciencia" es la actividad de su enseñanza: la educación en ciencias *es* ciencia, es uno de sus ámbitos o "contextos"[1] (Echeverría, 1995). El *contexto de educación de la ciencia* es de enorme relevancia en la medida en que moldea no solo las capacidades y actitudes que los futuros científicos pondrán en juego en sus tareas de investigación, sino también la imagen social de la ciencia en el ámbito extracientífico.

Es en ese mismo contexto que ciertos problemas de la ciencia, de interés epistemológico y filosófico, son también cuestiones que merecen ser tematizadas para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. Un caso paradigmático de ello es la cuestión de la utilización de modelos en ciencias, un tema central tanto en la epistemología (o filosofía de la ciencia) como en la didáctica de las ciencias naturales. En el presente capítulo abordaremos este tema argumentando que los modelos deben comprenderse como *mediadores* entre ciencia y realidad, como aquello que permite la aplicación múltiple de una teoría científica pero, a la vez, derruye la concepción ingenua de las teorías como copias de la realidad. Con este objetivo, presentaremos un caso concreto de la química –el caso del enlace químico– y, a partir de ese caso, veremos cómo esta concepción de los modelos como me-

[1] Contexto que se viene a sumar a los tradicionales de descubrimiento y justificación, y al más recientemente propuesto de innovación.

Merino, C., Arellano, M., Adúriz-Bravo, A (Eds.) *Avances en didáctica de la química: modelos y lenguaje.*
© 2014. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Impreso en Valparaíso, Chile.

diadores tiene influencia directa sobre la práctica efectiva de la educación en química y la formación inicial y continuada del profesorado de química.

EL CONCEPTO DE ENLACE QUÍMICO

Como es bien sabido, la noción de enlace constituye uno de los conceptos centrales de la química. Más aún, gran parte de la química moderna se ocupa de las propiedades y la dinámica de los enlaces químicos. Las teorías actuales sobre el tema surgen de los trabajos de Irving Langmuir, Walther Kossel y, muy especialmente, de Gilbert Newton Lewis (1916, 1923)[2]. Con una notable intuición, Lewis desarrolló su teoría varios años antes del surgimiento de la mecánica cuántica y del concepto de orbital. En 1916 Lewis publicó un artículo, "The atom and the molecule", que permitió comprender la naturaleza de los enlaces entre átomos no metálicos. El artículo, además, sentó las bases de nuestra comprensión actual de otro concepto fundamental de la química contemporánea: la estructura molecular. Con el advenimiento de la mecánica cuántica, dos "teorías" físicas brindaron una descripción del enlace químico en térmicos formales: la teoría del enlace de valencia y la teoría de los orbitales moleculares.

La teoría del enlace de valencia

La teoría clásica del enlace de valencia (TEV) tiene su origen en el artículo que Walter Heitler y Fritz London publicaron en 1927. Este trabajo fue la primera aplicación de la mecánica cuántica a un sistema molecular, la molécula de hidrógeno H_2, con el propósito de describir el enlace covalente (Heitler y London, 1927)[3]. La generalización a moléculas poliatómicas se debió a los trabajos de John C. Slater (1930), del Premio Nobel Linus Pauling (1931, 1939), de Henry Eyring y Michael Polanyi (1931), y de George Willard Wheland (1955).

La TEV es la primera descripción mecánico-cuántica del enlace covalente en términos de orbitales atómicos. Esta teoría está basada en ideas estructurales previas y, en particular, en la teoría electrónica de Lewis, proporcionando una forma de calcular los valores numéricos de los ángulos y las longitudes de enlace. En su forma más simple y comúnmente utilizada, la TEV asume que los enlaces pueden describirse en términos de *orbitales localizados*.

En su análisis, Heitler y London partieron de la molécula de H_2. Cada átomo tiene en su estado fundamental un electrón en un orbital 1*s*. Cuando los dos átomos de H se acercan, sus electrones 1*s* (con espines opuestos) se aparean, y los orbitales atómicos se fusionan. Como resultado de ello se forma un enlace de tipo σ (sigma), un cilindro alargado con una acumulación de densidad electrónica entre ambos núcleos. Dicho enlace es el que mantiene unidos los átomos en la molécula de H_2. La fusión de orbitales atómicos se denomina *superposición* o *solapamiento* (a veces también "traslape") de orbitales, y la misma explica la estabilidad del enlace covalente. Todos los enlaces covalentes simples

---

[2] Para un desarrollo histórico del concepto de enlace, véase Sutcliffe (1996).

[3] Históricamente, se considera que la descripción del enlace químico utilizando por primera vez una teoría física brindó las bases para afirmar que la química puede ser reducida a la física cuántica (Harris, 2008).

son enlaces de tipo σ. La función de onda para la molécula de hidrógeno H_2 toma la forma:

$$\Psi_{(\mathrm{TEV})} = \Psi_{A(1)B(2)} + \Psi_{A(2)B(1)}$$

donde los electrones son denotados mediante 1 y 2, y A y B representan ambos átomos de hidrógeno H.

Un tipo diferente de enlace aparece en la molécula de nitrógeno N_2. La distribución de los electrones en sus orbitales es $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$. Esto significa que hay un electrón en cada uno de los tres orbitales 2*p*. Cuando los electrones en un orbital *p* sobre cada átomo se aparean, los orbitales pueden superponerse dando lugar a un enlace de tipo π (pi).

Otro concepto importante en este marco teórico es el de *hibridación*. La formación de orbitales híbridos puede apreciarse, por ejemplo, en el metano CH_4: los cuatro orbitales atómicos se combinan para formar cuatro orbitales híbridos que difieren solo en sus orientaciones, donde cada uno de ellos apunta hacia los vértices de un tetraedro. Estos orbitales se denominan orbitales híbridos sp^3, al estar formados a partir de un orbital *s* y tres orbitales *p*.

En el caso de una molécula poliatómica como el benceno –el "padre" de los compuestos aromáticos–, sabemos que la estructura actual es un híbrido de resonancia de los dos patrones de enlace alternativos que presentan las llamadas "estructuras de Kekulé". La molécula presenta una geometría plana, y para describir la formación de enlaces se considera que cada átomo de carbono C está hibridado sp^2. Los enlaces carbono-carbono que componen el anillo son idénticos y los electrones en los enlaces π están "diseminados" alrededor del anillo. Las dos formas de Kekulé posibilitan la disminución de las interacciones electrostáticas, la energía total disminuye, y la estructura global es más estable que cualquiera de las estructuras participantes por separado. Dicha mezcla de estados de igual (o casi) energía se denomina *resonancia*.

La teoría de los orbitales moleculares

La teoría de los orbitales moleculares (TOM) fue introducida por el Premio Nobel Robert Mulliken (1928) y Friedrich Hund, con importantes contribuciones de Sir John Lennard-Jones (1929), Erich Hückel y Charles Coulson. Esta teoría surge como una alternativa superadora de los límites que presentaban la teoría electrónica de Lewis y la teoría de repulsión de los pares de electrones del nivel de valencia (VSEPR, por sus siglas en inglés), y era más fácil de utilizar en los cálculos que la TEV. En particular, la TOM puede explicar fenómenos tales como la existencia de compuestos deficientes en electrones (por ejemplo, el diborano), la estabilidad de la especie H_2^+, y el paramagnetismo del oxígeno.

A diferencia de la TEV, la TOM parte del ión molecular de hidrógeno H_2^+, especie formada por dos protones y un electrón. En esta teoría, los electrones ya no se encuentran *localizados* sobre los átomos o entre pares de átomos, sino *deslocalizados* en toda la molécula ocupando orbitales denomi-

nados *orbitales moleculares*. Es decir, los electrones ya no están confinados a enlaces individuales, sino que la teoría asigna electrones a la totalidad de la molécula. De este modo, el enlace covalente es descripto ahora en términos de orbitales moleculares distribuidos en toda la molécula.

En el ión molecular de hidrógeno H_2^+, la molécula más sencilla existente, la función de onda se expresa de la siguiente forma:

$$\Psi_{(\mathrm{TOM})} = \Psi_{A1s} + \Psi_{B1s}$$

donde Ψ_{A1s} representa un orbital 1*s* centrado sobre un átomo A y Ψ_{B1s} es un orbital 1*s* centrado sobre un átomo Ψ. Un orbital molecular se explica en términos de una *combinación lineal de orbitales atómicos* (CLOA). Cualquier orbital molecular formado a partir de una combinación lineal de orbitales atómicos se denomina CLOA-OM.

Una combinación de orbitales atómicos que produce una disminución global de energía se denomina *orbital enlazante* σ. Y cuando dicha combinación produce un ascenso global de energía se llama *orbital antienlazante* σ*. El orbital molecular formado tiene menor energía que los orbitales atómicos. La estabilidad de la molécula de hidrógeno se explica dado que su energía es menor que la de los átomos separados. Otro tipo de orbital aparece en una molécula poliatómica como el H_2O. En esta molécula, cuando un orbital está ocupado y no contribuye al orbital enlazante ni al antienlazante, se denomina *orbital no enlazante*. En algunos casos, este tipo de orbital es solo un orbital atómico; en otros, consiste de un combinación lineal de orbitales atómicos sobre átomos que no son vecinos y, por tanto, se superponen en una extensión despreciable.

La descripción que hace la TOM de otra molécula poliatómica como el benceno C_6H_6 es un caso interesante, ya que, por un lado, elimina la *resonancia* en su esquema explicativo y, por otro, mezcla conceptos propios de la TOM junto con conceptos de la TEV. En efecto, en la descripción de los enlaces σ de dicha molécula, los químicos suelen emplear nociones como hibridación y solapamiento de orbitales, centrales en el esquema conceptual de la TEV. En el caso de los enlaces π, característicos de los enlaces dobles, ellos se encuentran deslocalizados alrededor del anillo de seis carbonos. Para representar este enlace π deslocalizado, a menudo suele representarse el símbolo del benceno como un hexágono con un círculo en su interior. Dado que los tres orbitales moleculares enlazantes de tipo π se extienden entre los seis átomos de carbono, en lugar de estar concentrados entre pares de átomos de carbono, estos orbitales se llaman *orbitales moleculares deslocalizados*. Generalizando, diremos entonces que los químicos habitualmente mezclan conceptos de ambos esquemas explicativos al describir moléculas orgánicas.

Otro concepto que forma parte de este marco conceptual es el de *orden de enlace* (OE), que expresa la fuerza de un enlace químico y se define del siguiente modo:

OE = (número de electrones enlazantes - número de electrones antienlazantes) / 2

A diferencia de la TEV, en la TOM un par de electrones no es esencial para un enlace: un único elec-

trón puede mantener dos átomos unidos con cerca de la mitad de la fuerza de un par de electrones (H_2^+ versus H_2), pero dicho par de electrones es el máximo permitido para ocupar un orbital molecular, de acuerdo con el principio de exclusión de Pauli.

Dos explicaciones del enlace químico

Hasta aquí hemos reseñado los aspectos centrales de las dos teorías en la descripción del enlace covalente. Un análisis superficial de las mismas nos conduciría a concluir que la TEV y la TOM difieren solamente en el conjunto de aproximaciones necesarias para generar la función de onda (Vemulapalli, 2008). Sin embargo, un análisis más profundo revelará que existen profundas diferencias conceptuales entre estas dos explicaciones.

La primera diferencia importante reside en la construcción de la función de onda: la TEV se concentra en el par electrónico como responsable del enlace covalente, analizando para ello la molécula de H_2. Por su parte, la TOM toma como punto de partida la especie molecular más sencilla existente, es decir, el ión molecular de hidrógeno H_2^+. De este modo, en la TEV, los electrones se encuentran localizados en enlaces individuales, y un enlace covalente se forma mediante el solapamiento de orbitales atómicos. En la TOM, por el contrario, los electrones están deslocalizados en orbitales moleculares en toda la molécula. En relación al tipo de orbitales que emplea cada teoría, mientras que en la TEV se emplean orbitales σ, π e híbridos, la TOM emplea orbitales enlazantes, antienlazantes y no enlazantes. Otra divergencia puede apreciarse en la representación de la molécula que hacen ambas teorías. En la TEV, una molécula se representa como un grupo de átomos unidos entre sí por medio del solapamiento *localizado* de los orbitales atómicos de la capa de valencia. Pero en la TOM una molécula se representa como una colección de núcleos con orbitales moleculares *deslocalizados* sobre toda la molécula.

Otro aspecto relevante a comentar es la aceptación de dichas teorías en las comunidades científicas. Al momento de su aparición, la TEV fue adoptada inmediatamente por los químicos, al ser la primera teoría que describía de manera cuantitativa un enlace químico. Sin embargo, la TOM comenzó gradualmente a ganar la aceptación de los científicos por su fácil implementación en las computadoras. A pesar del dominio de esta teoría en química computacional, los químicos continuaron utilizando el esquema conceptual de la TEV, especialmente en química orgánica, para el diseño de nuevas moléculas y nuevas reacciones.

A partir de la década de 1980, la TEV comenzó a resurgir tornándose una atractiva alternativa a la TOM (para detalles, véase Hiberty y Shaik, 2007). Por su parte, en los libros de texto de introducción a la química, la TEV nunca fue eclipsada por la TOM. La mayoría de los químicos aceptaron la superioridad de la TOM sobre la TEV para estudios *cuantitativos*, pero continuaron empleando la TEV por su claridad conceptual para racionalizar las ideas químicas de un modo *cualitativo*. De este modo, y tal como señalan varios autores, la TEV y la TOM desempeñan en la actualidad papeles *complementarios* (Klein y Trinajstic, 1990; Hiberty y Shaik, 2008), y su utilización depende de los factores considerados relevantes a tal propósito: facilidad de implementación computacional, facilidad en la visualización, *facilidad de uso en la enseñanza*, etc.

LOS MODELOS COMO MEDIADORES

El papel de los modelos

El caso del enlace químico sirve muy bien para pensar en la coexistencia de dos explicaciones científicas diferentes de un mismo fenómeno. Desde una perspectiva realista ingenua, esta coexistencia conduce a una perplejidad, que se intenta resolver suponiendo que una de las explicaciones es "mejor" que la otra, en la medida en que resulta una mejor "copia" de la realidad. Sin embargo, esta estrategia ignora el ya mencionado hecho de que la elección entre la TEV y la TOM depende de los factores considerados relevantes en cada situación, y no puede hablarse de una explicación como *completamente* superior a la otra. Es aquí donde acudir a la noción de modelo ayuda a disipar las perplejidades que derivan de la coexistencia de descripciones y explicaciones diferentes, e incluso incompatibles, de un mismo fenómeno.

Las raíces de una perspectiva que debilita el estrecho vínculo entre teoría y realidad establecido por el realismo tradicional pueden hallarse en el llamado *realismo constructivo* de Ronald Giere (1988). Según este autor, un modelo es una entidad abstracta que "se comporta" como afirma o dicta la teoría a través de sus enunciados. La relación entre el mundo real y los modelos es la de *similaridad*, una relación lógicamente intransitiva que no conduce a la "verdad": un modelo no es verdadero, sino similar al sistema real *en algunos aspectos y grados*, que dependen tanto de las capacidades biológicas del ser humano como de convenciones y paradigmas socialmente aceptados. El enfoque de Giere enfatiza el carácter no-lingüístico (a menudo "imaginístico") de los modelos: los sistemas idealizados que se presentan en los textos de ciencias son modelos.

La perspectiva de Giere brinda las bases conceptuales para introducir la noción de "modelo como mediador": modelo *de* un sistema real *para* una teoría (cfr. Lombardi, 1998, 2010; Morgan y Morrison, 1999; Adúriz-Bravo, en prensa). En estos términos aparecen, entonces, los tres polos de la relación:

$$\text{teoría} \leftrightarrow \text{modelo} \leftrightarrow \text{realidad}$$

En efecto, el sistema real que la teoría pretende describir siempre involucra una enorme cantidad de factores que se resisten a su tratamiento pormenorizado; además, muchos factores suelen ser irrelevantes a la luz de la propia teoría y, por tanto, pueden ignorarse en la descripción. El modelo es, entonces, un objeto abstracto, conceptualmente construido, en el cual se consideran como variables solo los factores relevantes, a veces se suponen las propiedades de los elementos inobservables del sistema real, e incluso en algunos casos se introducen entidades ideales inexistentes en la realidad. Así, por ejemplo, se construye conceptualmente el modelo *de* un péndulo real como un péndulo sin rozamiento y con hilo inextensible (*para* las oscilaciones armónicas), o el modelo *de* un gas real como un conjunto de pequeñas esferas macizas que interactúan de acuerdo con las leyes del choque elástico (*para* la cinética molecular).

La diversidad de operaciones que se combinan en la construcción de un modelo pone de manifiesto la naturaleza de la relación de *representación* entre modelo y sistema real: no se trata de una rela-

ción "pictórica" o icónica, donde a cada elemento del modelo corresponde un elemento del sistema real. Por el contrario, entre ambos se establece una relación compleja, de sistema a sistema, donde algunas variables del sistema real pueden no aparecer en el modelo y, a su vez, algunas variables del modelo pueden no poseer su correlato en el sistema real. Como esta relación modelo-sistema no se refiere a un parecido superficial entre ellos, sino a un vínculo de carácter altamente teórico, Morgan y Morrison (1999) dicen que el modelo es "representativo" del sistema físico, y no solo una representación.

De acuerdo con esta concepción, la función principal de los modelos como mediadores entre teoría y realidad consiste en permitir el uso de una teoría científica para la explicación de un fenómeno natural a través de una conceptualización de tal fenómeno. Como lo describe Ismo Koponen (2007), "los modelos contienen una cantidad sustancial de conocimiento teórico bien articulado, a través de los principios teóricos involucrados en su construcción" (p. 762; la traducción es nuestra).

Margaret Morrison (1998, 2005) identifica las características principales de los modelos como mediadores:

1. Los modelos no son derivables de la teoría; por el contrario, en general su formulación es condición necesaria para la aplicación de la teoría a un sistema real.

2. Los modelos no son derivables de los datos empíricos a través de técnicas estadísticas; por el contrario, en general los modelos involucran supuestos conceptuales y teóricos sustanciales.

3. Los modelos tienen la importante propiedad de reemplazar a los sistemas reales en tanto referentes directos de las teorías. Esta propiedad se conoce con el nombre técnico de *subrogación* (cfr. Adúriz-Bravo, 2010).

4. Un modelo actúa como mediador en la medida en que lleva consigo un conocimiento particular o "local" específico acerca del sistema real del cual es modelo.

Estas características brindan al modelo una cierta *autonomía* tanto respecto de la teoría como respecto de la realidad. En palabras de Margaret Morrison y Mary Morgan, los modelos se convierten en "agentes autónomos":

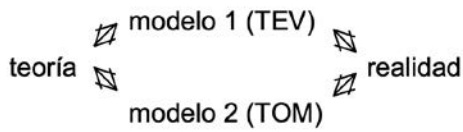
> Es precisamente debido a que los modelos son parcialmente independientes tanto de las teorías como del mundo, que poseen este componente autónomo y pueden, así, ser utilizados como instrumentos en la exploración de ambos dominios. (Morrison y Morgan, 1999: 10; la traducción es nuestra).

O, como afirma Morrison, puesto que un modelo es portador de un conocimiento "local" específico, posee una naturaleza *híbrida* (ni teoría, ni realidad): el modelo adquiere vida por sí mismo y se hace manifiesto su papel como mediador (cfr. Morrison, 1999: 44).

Es gracias a este carácter híbrido, no reducible ni a teoría ni a empiria, y autónomo, no completamente dependiente de formulaciones teóricas ni de resultados experimentales, que los modelos científicos pueden trabajar como mediadores entre esos dos campos.

Modelo y modelos

Como hemos señalado, en el caso del enlace químico conviven dos explicaciones, la TEV y la TOM, a las que usualmente se denomina "teorías". Sin embargo, es fácil advertir que la teoría que subyace a ambas explicaciones es la misma: la mecánica cuántica. Lo que en realidad sucede es que la TEV y la TOM *representan* de un modo diferente la molécula y sus componentes: cada una de las dos representaciones vincula la misma realidad con un modelo diferente:



Además, si bien originalmente se supuso la superioridad de TOM respecto de TEV, hoy resulta claro que ambos modelos conviven en la actividad de la química.

El ejemplo del enlace químico pone de manifiesto que no existe "el" modelo de un sistema real dado, sino una multiplicidad de modelos según los factores considerados relevantes, la eventual postulación de entidades ideales, el supuesto de estructuras inobservables, etc. La elección del modelo a utilizar en la aplicación de una teoría *depende del interés que mueve al científico en cada caso particular*. Por ejemplo, en general es legítimo describir el movimiento de un cuerpo como el de una masa puntual cuando sus dimensiones son inferiores a la precisión de los instrumentos utilizados para determinar longitudes; tal vez pueda despreciarse el efecto gravitatorio de la Luna si se desea describir la órbita terrestre alrededor del Sol, pero no puede hacerse lo mismo si lo que se pretende explicar es el comportamiento de las mareas. Por lo tanto, dado un cierto sistema real, no es posible considerar uno de sus modelos como "mejor" que otro en un sentido absoluto, sino solo en relación con los objetivos constitutivos de la aplicación específica que se lleva a cabo.

Existen, sí, modelos más complejos que otros, en el sentido de involucrar mayor cantidad de factores o estructuras más articuladas. Pero, como nos muestra el ejemplo del enlace químico, esto no implica que deba preferirse el modelo de mayor complejidad en todos los casos. Por el contrario, en muchas situaciones, los modelos más sencillos permiten describir de un modo conceptualmente más claro y preciso ciertos aspectos del sistema real bajo estudio.

La concepción de los modelos como mediadores contribuye también a comprender en qué sentido puede hablarse de los límites de aplicabilidad de una teoría científica. Sostener que la mecánica de partículas es falsa frente a la mecánica del cuerpo rígido, o que la mecánica clásica ha quedado invalidada desde el surgimiento de la teoría relativista sugiere la necesidad de abandonar ciertas formulaciones teóricas en favor de otras más fieles a la realidad. Pero esto no refleja la práctica efectiva de la ciencia. Supóngase un único sistema real representado por medio de dos modelos, a cada uno de los cuales se aplica una teoría científica diferente; nada impide que, dentro de la precisión requerida, ambas teorías puedan resultar empíricamente adecuadas a través de sus respectivos modelos. En tal caso, el científico tenderá a trabajar con la teoría y el modelo más sencillos; por ejemplo, ningún físi-

co recurre a modelos relativistas para representar sistemas abordables mediante la mecánica clásica. Por lo tanto, la elección del par modelo-teoría a utilizar en cada situación depende de la precisión con la que se desee trabajar, lo cual, a su vez, es función de los objetivos de cada aplicación particular. Una teoría inaplicable a ciertos modelos puede, no obstante, continuar siendo fructíferamente utilizada para otros modelos de un modo totalmente legítimo desde el punto de vista científico.

La comprensión de este aspecto de la práctica científica conduce a abandonar la perspectiva epistemológica ingenua que tiende a identificar las limitaciones de una teoría con "errores" a eliminar por medio de la aplicación de una teoría "mejor". Los límites de aplicabilidad de las teorías científicas vigentes deben considerarse como una de sus características constitutivas, y no como un "defecto" a ser superado con la evolución ulterior de la ciencia. Y en este proceso de elección del par teoría-modelos, los modelos manifiestan una vez más su papel activo en la práctica científica, en la medida en que intervienen de un modo esencial en la decisión del marco teórico a utilizar en cada situación particular.

MODELOS Y ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA

La polisemia del término modelo en el lenguaje natural, en la actividad científica y en la enseñanza de las ciencias constituye ciertamente un obstáculo a la hora de que profesores y estudiantes puedan aprehender completamente su alcance. En este sentido, en el presente capítulo hemos intentado caracterizar –aunque más no sea provisoriamente– el constructo de modelo desde una perspectiva epistemológica determinada, haciendo caso a una demanda conceptual aceptada tanto desde la epistemología (cfr. Estany, 1993), como desde la didáctica de las ciencias naturales (cfr. Adúriz-Bravo, 2010).

En la enseñanza de las ciencias, los profesores usan en clase teorías y modelos científicos, adecuados mediante *transposiciones didácticas* a la "audiencia" de estudiantes. En el oficio de enseñar ciencias se echa mano a ideas complejas cuyas precisiones epistemológicas están aún en discusión; por ello es deseable, también *al interior de la didáctica de las ciencias*, establecer con claridad algunos "puntos de partida". Es con esa necesidad en mente que en este capítulo nos hemos centrado en la revisión de una postura epistemológica reciente sobre la significación del término "modelo", su relación con la noción de teoría, su característica esencial de ser mediador, y su aplicación detallada a un caso particular de química. Ahora deseamos extraer algunas implicaciones de la noción de modelo a la que adherimos para la práctica de enseñar ciencias.

En la sección anterior hablamos de distintas "situaciones" que se dan en las ciencias; los requerimientos y demandas específicas de esas situaciones hacen que los usuarios de los modelos se decanten por unos u otros. Entre las situaciones imaginables, por supuesto, queremos incluir centralmente la enseñanza de las ciencias, en donde siempre se toman decisiones argumentadas en torno a qué valores epistémicos y educativos se priorizan en detrimento de otros. A la hora de enseñar ciencias, entonces, se puede poner énfasis en la claridad, la compactitud, la sencillez (simbólica o matemática), la generalidad o el valor histórico y cultural de un modelo científico, la factibilidad de establecer

relaciones conceptuales de ese modelo con otros campos científicos o la capacidad de construir analogías entre él y con otros campos no científicos, y un largo etcétera. Por tanto, en la enseñanza de las ciencias no existen respuestas sencillas en torno a cuál es el "mejor" modelo a enseñar. Esta característica de la enseñanza de las ciencias queda mejor capturada si el profesorado acude a una visión de la ciencia *basada en modelos*, como la que expusimos en este capítulo, en lugar de a la tradicional visión basada en teorías.

Más allá de los detalles técnicos sofisticados (cfr. Morrison, 1998, 2005; Morgan y Morrison, 1999), la concepción de modelo científico como mediador que exponemos aquí es a la vez sencilla, inclusiva y potente para la enseñanza de la química. Podríamos decir que cualquier representación subrogante, en cualquier medio simbólico, que permite pensar, hablar y actuar con rigor y profundidad sobre el sistema real que se está estudiando, califica como modelo de ese sistema. En este sentido, son *modelos científicos escolares* no solo los artefactos conceptuales altamente matematizados y abstractos usuales, sino también las maquetas, las imágenes, las tablas, los grafos, las redes, las analogías... siempre que habiliten, a quienes los usan, a describir, explicar, predecir e intervenir y no se reduzcan a meros "calcos" del objeto subrogado.

La idea de modelo-mediador abriría un espacio de juego para el trabajo en el aula de ciencias naturales y de química (cfr. Giere, 1999a, 1999b; Lombardi, 1998, 2010; Izquierdo-Aymerich, 2000; Adúriz-Bravo, 2010, en prensa), puesto que quitaría la pesada carga impuesta por los "formalismos" que supuestamente se han de respetar cuando se hace ciencia escolar. Es decir, ahora no sería tan importante enseñar a repetir y a manipular enunciaciones proposicionales compactas (por ejemplo, las fórmulas mecánico-cuánticas de más arriba sobre cómo se "calcula" un enlace en los dos modelos), sino poder pensar sobre ciertos "hechos-clave reconstruidos teóricamente" (una molécula sencilla, el ión molecular más pequeño, el paramagnetismo, la aromaticidad...) para dar sentido a los fenómenos del mundo que nos rodea (la estabilidad de las sustancias, la existencia de enlaces más fuertes o más débiles, la geometría de las moléculas...) que se nos mostrarían análogos a aquellos.

Otra pieza clave de nuestra propuesta para la enseñanza de la química es que la idea de modelo-mediador nos permite considerar que algunos modelos químicos importantes son *al mismo tiempo* modelos-de y modelos-para (cfr. Adúriz-Bravo, 2010, en prensa). Por un lado, constituyen la contraparte abstracta de los sistemas modelizados y, por otro, son "paradigma" (en el sentido de ejemplar kuhniano) para la aplicación de la teoría y la subsecuente creación de nuevos modelos más específicos o más generales que se vincularán significativamente con ellos. Es decir, el modelo de *enlace* sería, en algunos aspectos, la versión extremadamente esquemática de algo cuya existencia se requiere o se infiere (y que algunos afirman que hoy en día hasta se puede "ver" con determinadas técnicas) y, en otros aspectos, un "plano" (en sentido arquitectónico) para orientar la descripción y la comprensión de los distintas estructuras químicas.

La analogía a la que se ha recurrido muchas veces para explicar esta concepción de modelo aquí descrita es la del *mapa*. Un mapa es una forma pensada o imaginada de "ver" un determinado terreno. El mapa se construye usando diversos recursos expresivos (colores, líneas, letras, símbolos...) y captura algunos aspectos del lugar real (relieve, hidrografía, clima, división política...) que han sido

seleccionados por un interés determinado. El mapa no es idéntico respecto de su original (por ejemplo, es bidimensional, y tiene colores arbitrarios y letras, a diferencia del "suelo"), sino semejante (técnicamente, "similar") a él. El mapa nos permite desempeñarnos con solvencia en el terreno por esa similaridad, pero también porque "corporiza" principios teóricos comunalmente compartidos (escala, perspectiva, símbolos, convenciones...). De la misma forma, *el modelo constituye una guía extremadamente potente para la intervención sobre el mundo natural* al quedar entremedio de nuestras ideas teóricas y los sistemas reales que nos interesa pensar.

CONCLUSIONES

Existe hoy en día una cantidad no despreciable de conceptualizaciones epistemológicas en torno a la idea de modelo; en este sentido, hay discusión académica importante en torno al constructo. Sin embargo, creemos que el marco teórico que utilizamos en este capítulo, económico y parsimonioso, es suficientemente flexible y riguroso como para poder trabajar en clase con modelos científicos escolares que genuinamente sirvan para entender el funcionamiento del mundo natural mediante ideas abstractas y, al mismo tiempo, no se encuentren tan alejados de las concepciones "alternativas" que traen los niños y niñas, adolescentes y jóvenes a la escuela (Izquierdo-Aymerich, 2000).

Estructurar la actividad científica escolar alrededor de modelos teóricos permitiría recrear en clase un saber disciplinar que es patrimonio de todos, pero que se debería enseñar sólo en tanto que posibilite que los sujetos *comprendan* el funcionamiento del mundo natural. Esta recreación, auxiliada por el profesorado y por los textos, no se plantea entonces como un "redescubrimiento" de ideas complejas que llevaron siglos de arduo trabajo a la humanidad, sino como una apropiación –profundamente constructiva– de herramientas intelectuales potentes que se van representando en el aula con el nivel de formalidad necesario para cada problema y cada momento del aprendizaje.

Entender los modelos químicos escolares como mediadores para la aplicación de las teorías químicas al mundo de la transformación de los materiales nos permite volver a dar valor al componente teórico de la ciencia, considerándolo una "conquista humana" que los currículos de ciencias prescriben transmitir a las nuevas generaciones. Ese componente, si adherimos a la visión de los modelos como entidades autónomas e híbridas, en parte "sale del mundo", porque captura algunos de sus elementos sustanciales, y en parte responde a una determinada mirada intencionada, profundamente humana.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo brindado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (FONCyT) y la Universidad de Buenos Aires (UBACyT) de Argentina.

Bibliografía

Adúriz-Bravo, A. (2010). "Concepto de modelo científico: Una mirada epistemológica de su evolución", en L. Galagovsky (coord.). *Didáctica de las Ciencias Naturales: El Caso de los Modelos Científicos*, Lugar Editorial: Buenos Aires, pp. 141-161.

Adúriz-Bravo, A. (en prensa). "Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química", *Educación Química.*

Echeverría, J. (1995). *Filosofía de la ciencia.* Akal: Madrid.

Estany, A. (1993). *Introducción a la Filosofía de la Ciencia.* Crítica: Barcelona.

Eyring, H. y Polanyi, M. (1931). *Zeitschrift für Physikalische Chemie, Abt. B* 12: 279-311.

Giere, R. (1988). *Explaining Science: A Cognitive Approach.* University of Chicago Press: Chicago.

Giere, R. (1999a). "Del realismo constructivo al realismo perspectivo", *Enseñanza de las Ciencias* número extra: 9-13.

Giere, R. (1999b). "Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico", *Enseñanza de las Ciencias* número extra: 63-70.

Harris, M. (2008). "Chemical reductionism revisited: Lewis, Pauling and physico-chemical nature of chemical bond", *Studies in History and Philosophy of Science* 39: 78-90.

Heitler, W. y London, F. (1927). "Wechselwirkung Neutraler Atome und Homöpolare Bindung nach der Quantenmechanik", *Zeitschrift für Physik* 44: 455–472.

Hiberty, P.C. y Shaik, S. (2007). "A survey of recent developments in *ab initio* valence bond theory", *Journal of Computational Chemistry* 28: 137-151.

Hiberty, P.C. y Shaik, S. (2008). *A Chemist Guide to Valence Bond Theory.* John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, New Jersey.

Izquierdo-Aymerich, M. (2000). "Fundamentos epistemológicos", en F.J. Perales y P. Cañal (comps.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales: Teoría y Práctica de la Enseñanza de las Ciencias*, Marfil: Alcoy, pp. 35-64.

Klein, D.G. y Trinajstic, N. (1990). "Valence-bond theory and chemical structure", *Journal of Chemical Education* 67: 633-637.

Koponen, I.T. (2007). Models and modelling in physics education: A critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. *Science & Education*, *16*(7-8), 751-773.

Lennard-Jones, J.E. (1929). "The electronic structure of some diatomic molecules", *Transactions of the Faraday Society* 25: 668-686.

Lewis, G.N. (1916). "The atom and the molecule", *Journal of the American Chemical Society* 38: 762-785.

Lewis, G.N. (1923). *Valence and the Structure of Atoms and Molecules.* Chemical Catalog Company: Nueva York.

Lombardi, O. (1998). "La noción de modelo en ciencias", *Educación en Ciencias* II: 5-13.

Lombardi, O. (2010). "Los modelos como mediadores entre teoría y realidad", en L. Galagovsky (coord.), *Didáctica de las Ciencias Naturales. El Caso de los Modelos Científicos*, Editorial Lugar: Buenos Aires, pp. 83-94.

Morgan, M. y Morrison, M. (eds.) (1999). *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science.* Cambridge University Press: Cambridge.

Morrison, M. (1998). "Modelling nature between physics and the physical world", *Philosophia Naturalis* 38, 65-85.

Morrison, M. (1999). "Models as autonomous agents", en M. Morgan y M. Morrison (eds.), *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 38-65.

Morrison, M. (2005). "Approximating the real: the role of idealizations in physical theory", en M.R. Jones y N. Cartwright (eds.), *Idealization XII: Correcting the Model: Idealization and Abstraction in the Sciences*, Rodopi: Amsterdam, pp. 145-172.

Morrison, M. y Morgan, M.S. (1999). Models as mediating instruments, en M.S. Morgan y M. Morrison (eds.). *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*, Cambridge University Press: Cambridge, pp. 10-37.

Mulliken, R.S. (1928). "The assignment of quantum numbers for electrons in molecules", *Physical Review* 32: 186-222.

Pauling, L. (1931). "Quantum mechanics and the chemical bond", *Physical Review* 37: 1185-1186.

Pauling, L. (1939). *The Nature of the Chemical Bond and the Structure of Molecules and Crystals: An Introduction to Modern Structural Chemistry*. Cornell University Press: Nueva York.

Slater, J.C. (1930). "Cohesion in monovalent metals", *Physical Review* 35: 509-529.

Sutcliffe, B.T. (1996). "The development of the idea of a chemical bond", *International Journal of Quantum Chemistry* 58: 645-655.

Vemulapalli, G.K. (2008). "Theories of the chemical bond and its true nature", *Foundations of Chemistry* 10:167-176.

Wheland, G.W. (1955). *Resonance in Organic Chemistry*. Wiley: Nueva York.

Capítulo 3

EL USO DE REPRESENTACIONES MULTIMODALES Y LA EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS ESCOLARES

Adrianna Gómez Galindo
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Monterrey, México, agomez@cinvestav.mx

Retomado la propuesta de ciencia escolar de Izquierdo y colaboradoras (1999), una de las actividades centrales de los alumnos sería la construcción de modelos escolares que les permitan construir un pensamiento teórico en torno a los fenómenos naturales. Es decir, que los alumnos puedan pensar en términos de átomos o moléculas para explicar algunos fenómenos químicos, o en células y sistemas para explicar algunos fenómenos biológicos o en fuerzas en interacción para explicar algunos fenómenos físicos. Pero también en la ciencia escolar se espera que los alumnos puedan pensar en sistemas, en explicaciones multi-causales, en la influencia del azar o en el determinismo. Se busca también que sean capaces de evaluar diferentes soluciones con base en evidencia, de hacer inferencias de datos obtenidos y que sean críticos con los proceso de obtención de dichos datos. Es decir, que en el proceso de construir modelos, aprendan a pensar científicamente.

Por tanto, en la propuesta de construcción de modelos escolares, hemos de poner el acento en los procesos de construcción, además de los productos obtenidos. Es por ello que en este capítulo se aborda la discusión en torno a los procesos de construcción y evolución de modelos, especialmente se reflexiona en torno al uso de representaciones multimodales (dibujos, maquetas, escritos, palabras).

Debido a las múltiples interpretaciones que se encuentran en la bibliografía sobre modelo y representación (ver Krapas, et al., 1997 o Svoboda y Passmore, 2011), aquí inicialmente se establece qué se entenderá por modelo escolar y por representación. Posteriormente se discuten los elementos que pueden incidir en la elaboración y evolución de los modelos escolares a través del uso de las representaciones multimodales.

MODELOS Y REPRESENTACIONES

En este trabajo se entiende que los modelos escolares son abstractos; son tramas de ideas asociadas a un fenómeno que nos permiten caracterizar su estructura y comportamiento en ciertas condiciones.

Los modelos se componen de entidades, que presentan ciertas relaciones entre sí y que tienen una estructura. Las entidades y sus relaciones pueden organizarse produciendo nociones, definiciones,

Merino, C., Arellano, M., Adúriz-Bravo, A (Eds.) *Avances en didáctica de la química: modelos y lenguaje.*
© 2014. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Impreso en Valparaíso, Chile.

conceptos, generalizaciones confirmadas, leyes, hipótesis, metáforas, analogías, procesos o ecuaciones.

Las entidades pueden considerarse como unidades operacionales para pensar, comunicar y actuar; son constructos conceptuales que se caracterizan por su comportamiento dentro de los límites del modelo y a veces también por su estructura. En palabras de Concari (2001) los modelos incluyen "la construcción teórica de ciertas entidades como sistemas objeto de estudio (por ejemplo luz, partícula, onda, fotón...), la descripción de esas entidades empleando conceptos asociados a ciertos atributos (energía, masa, carga eléctrica...), y otros que establecen relaciones entre aquellos conceptos (fuerza, trabajo, potencial...) que dan cuenta de los procesos y estados involucrados".

Un aspecto interesante a discutir de los modelos escolares es su relación con los modelos científicos y con las teorías. Según Giere (1992) las teorías científicas se componen de modelos organizados y jerárquizados. La relación entre modelo y teoría es bidireccional en el sentido de que el conjunto de modelos compone la teoría, pero al mismo tiempo los modelos hacen referencia a la aplicación de la misma. Las teorías se entienden como un conjunto lógico de proposiciones, la relación entre estas proposiciones y la vida real, o los fenómenos del mundo, es indirecta y se da por intermediación de los modelos (Giere (1992).

Los modelos hacen referencia, por relaciones de semejanza, a un fenómeno del mundo específico y se vinculan a él a través de la hipótesis teóricas, para comprenderlo, explicarlo y predecir su comportamiento. Los modelos pueden entonces entenderse como el centro de la parte aplicativa de una teoría y son vistos como "proyecciones" de la teoría al mundo, por lo que se les llama sus "realizaciones posibles" (Sensevy, et al., 2008). Los modelos dan especificidad a la teoría, siendo elementos estructurales que median entre ésta y los fenómenos del mundo (Develaki, 2007).

Los modelos construidos en la escuela se han llamado modelos teóricos escolares (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003) y se caracterizan por generarse a partir de una trasposición didáctica de los eruditos. En el caso de los modelos escolares, la relación directa con un fenómeno del mundo permite que los estudiantes aprendan a pensar teorícamente sobre el mundo, es decir, aprendan que la ciencia genera entidades abstarctas, relaciones y propiedades de las mismas, que explican el comportamiento o estuctura de los fenómenos naturales. Se trata de una transición de lo concreto a lo abstracto y viceversa, que está en el centro de los procesos de modelización (Sensevy, et al., 2008).

En el caso de las representaciones, encontramos que en términos generales, en la bibliografía se hace referencia a dos tipos de representaciones: abstractas y concretas. Algunos autores consideran a los modelos como representaciones mentales (Johnson-Laird, 1983), pero también se ha hablado de representaciones concretas como por ejemplo la estructura tridimensional del DNA, a la cual también se ha llamado un modelo concreto, "modelo expresado" (Justi, 2006) o "representación didáctica" (Viau, et al., 2008).

Con una finalidad didáctica, se ha elegido aquí hablar de los modelos como constructos abstractos y de las representaciones como constructos concretos. Así, una representación sería la expresión concreta de un modelo en uno o varios registros semióticos (lenguaje natural, imagen, maqueta,

etc.) (Buckley, 2000). Esta expresión se crea con una intención particular y en un contexto específico. Los modelos abstractos generan diversas representaciones "externas" o "concretas", como dibujos, conversaciones, maquetas, ecuaciones, etc., sin embargo, la relación entre modelo y representación es compleja y no causal directa.

Siguiendo este orden de ideas, las representaciones serían la materia prima sobre la cual trabajar en la clase de ciencias. Las diversas formas en que los alumnos representan el modelo serían susceptibles de ser comunicadas, negociadas y reguladas en la clase. Algunos trabajos realizados en este sentido nos han dado pauta a reflexionar en torno a las posibilidades del uso de las representaciones para la construcción y evolución de modelos escolares (Gómez, 2008).

Representaciones multimodales

Si se parte de caracterizar las representaciones como expresiones de un modelo, estas expresiones pueden darse bajo diversos registros semióticos. Especialmente en la clase de ciencias es común el uso de palabras, dibujos, maquetas, ecuaciones, gráficas y gestos. Se considera, en términos generales, que el uso de diversas representaciones para desarrollar explicaciones en el aula promueve una mejor comprensión de los temas (Mayer y Moreno, s/f)[1]. Sin embargo, se habla aquí de representaciones del modelo, es decir, de dibujos, maquetas, gráficas, etc. que intentan dar cuenta de las entidades y relaciones, así como las condiciones que permiten explicar y manipular un fenómeno natural. Se trata aquí de la utilización de las representaciones para generar un proceso de modelización. El proceso de modelización, tal como se mencionó, implica además el uso de evidencias, la argumentación y el uso de entidades teóricas, la posibilidad de, tal como lo menciona Izquierdo (2008), dar congruencia a experiencia, lenguaje y pensamiento.

Las representaciones son multimodales cuando de forma coordinada se utilizan diversos modos semióticos (Kress, et al., 2001). Se trata de que los alumnos acompañen sus dibujos con texto, o los expliquen, que utilicen gestos, gráficas y lenguaje matemático de forma coordinada. También puede entenderse la multimodalidad cuando durante una secuencia didáctica los alumnos van generando diversas representaciones para ir explicando diversos aspectos del modelo en forma de explicaciones narrativas (Gómez, en prensa).

Los diferentes modos semióticos o modos comunicativos juegan un rol específico en la construcción de significados en el modelo, algunos estudios muestran que éste depende del concepto a estudiar y la fase del proceso de enseñanza aprendizaje en el que se utilicen (Márquez, et al., 2006). El uso coordinado de diversos modos semióticos o comunicativos ayuda a la construcción del modelo, ya que cada modo comunicativo enfatiza algunos aspectos del modelo: un diagrama, flujos y direcciones a través de flechas; una fórmula, proporciones; una maqueta, relaciones espaciales, etc. (Gómez, 2008).

---

[1] Específicamente en multimedia estudios relacionados con el llamado principio de modalidad muestran que el aprendizaje de los alumnos es mejor cuando se presentan imágenes y texto de manera coordinada (Harskamp, et al., 2007).

ELEMENTOS DE LA MULTIMODALIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN Y EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS

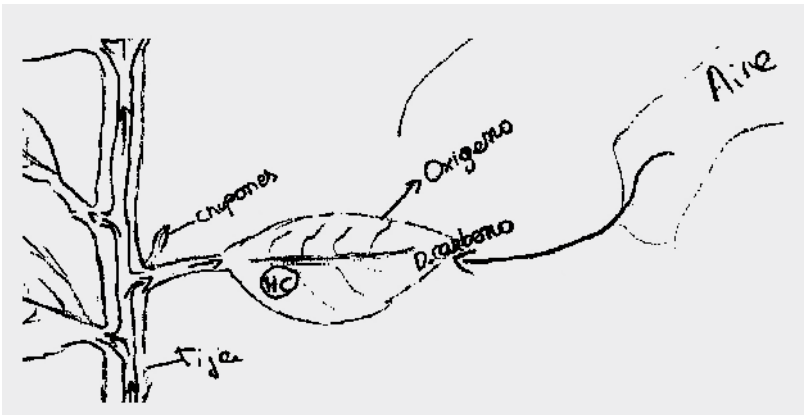
Los estudios antecedentes que hemos venidos realizando en torno al uso de representaciones y la modelización, nos permiten la reflexión sobre algunos aspectos que pueden tomarse en cuenta al usar representaciones y desarrollar procesos de modelización. Estos se desarrollan a continuación y son:

- la construcción de entidades del modelo y su regulación.
- la vinculación entre las entidades y el fenómeno estudiado a partir de la construcción de hipótesis teóricas.
- el desarrollo de consensos y convencionalismos.
- la argumentación.
- el uso de analogías y mediadores analógicos.
- la negociación social de las representaciones.

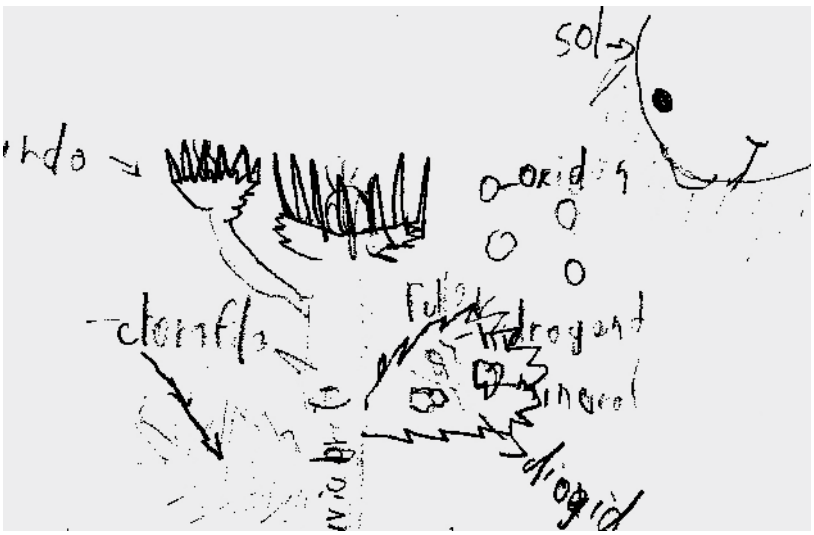
La construcción de entidades del modelo y su regulación

Las entidades, sus propiedades y relaciones son una parte fundamental del modelo teórico. Aún siendo constructos abstractos, en la ciencia escolar, dependiendo de la edad y madurez de los alumnos pueden usarse diferentes modos semióticos para su representación (desde dibujo hasta expresiones químicas o matemáticas). En los trabajos que hemos realizado encontramos inclusive que en una misma clase el nivel de abstracción de los alumnos al representar entidades puede variar. El uso de diversas representaciones producidas por los propios alumnos da pie a generar proceso de regulación que promueven la evolución de los modelos, en tanto permiten una evaluación formativa, cuya finalidad es llegar a conocer los modelos que han construido los alumnos, las estrategias que usan para resolver o dar respuesta a ciertos problemas y el estudio de sus errores (Sanmartí, 2007).

Por ejemplo en una secuencia didáctica para promover la construcción del modelo ser vivo en niños de 5º de primaria, se trabajaron diversas ideas sobre la fotosíntesis. En los dibujos producidos por los alumnos identificamos la generación de entidades básicas del modelo de fotosíntesis, como son el oxígeno y el dióxido de carbono, así como la relación que se establece entre estos y el medio interno y externo de la planta y los procesos de transformación de estos gases (y el agua). Esto se observa en los dibujos 1 y 2. Llama la atención que ambos dibujos muestran este proceso de transformación, sin embargo, en el dibujo 1, la niña que lo realizó genera una nomenclatura propia que muestra que el Hidrógeno del agua y el Carbono del dióxido de carbono se han juntado (HC). En el dibujo 2, un niño muestra una transformación de las entidades a través de dibujar en el medio externo círculos, y en el medio internos (dentro de la hoja) dos círculos que se unen.



Dibujo 1. Entidades, relaciones y transformaciones en el modelo fotosíntesis.



Dibujo 2. Entidades, relaciones y transformaciones en el modelo fotosíntesis.

En los dibujos 1 y 2 las entidades se vinculan directamente con un fenómeno del mundo, el crecimiento en plantas, fenómenos que fue observado y discutido en clase. Este aspecto es relevante, ya que los alumnos están modelizando el fenómeno, pensándolo en términos de sus relaciones con las entidades teóricas que lo explican desde la biología.

La regulación de la construcción de entidades es social y contextualizada, a través de compartir las diferentes formas de explicar teóricamente y también a través de los ajustes a las actividades realizados por los docentes. Así, al utilizar diferentes modos comunicativos se favorecen los procesos de regulación, ya que se amplía la posibilidad de discutir el uso de elementos (líneas, símbolos, materiales) y no solamente sobre las palabras dichas o escritas.

La vinculación entre entidades y el fenómeno estudiado a partir de la construcción de hipótesis teóricas

Las representaciones generadas por los propios alumnos constituyen para ellos la construcción de las hipótesis teóricas que generan vínculos de semejanza entre el modelo y el mundo. También entre el modelo construido en clase y los modelos presentes en libros de texto (ver Figura 1).

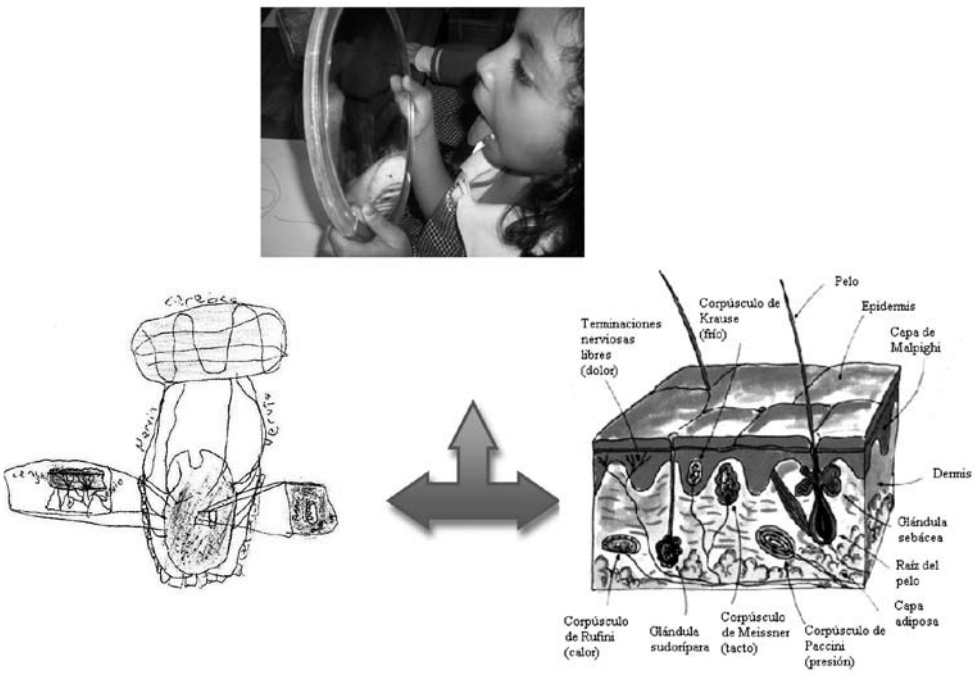


Figura 1. Relaciones entre el fenómeno estudiado y las entidades del modelo como hipótesis teóricas. Arriba actividades realizadas por alumnos relacionadas con el sentido del gusto, abajo - izquierda dibujo de una alumna, abajo - derecha imagen del libro de texto.

En términos de la propuesta de Giere una hipótesis teórica "afirma la existencia de semejanza entre un cierto modelo teórico y un sistema real designado" (Giere, 1992: 118). En este sentido el uso de dibujos y maquetas por parte de los alumnos, es especialmente útil para el desarrollo de las hipótesis teóricas. En una enseñanza tradicional en la que se "explica" por parte del docente las entidades de los modelos, resulta sumamente complejo para los alumnos el desarrollo de hipótesis teóricas, aspecto esencial en el desarrollo de modelos.

El desarrollo de consensos y convencionalismos

Se sabe que además de aspectos cognitivos, en la capacidad de interpretar imágenes, maquetas, gráficas, etc., es importante establecer consensos y convencionalismos. Se ha encontrado que para los alumnos es problemático reconocer los convencionalismos utilizados en dibujos y maquetas (NSF, 2001). Además, en la ciencia, es amplio y diverso el uso de convencionalismos, por ejemplo, el símbolo O en química se refiere al oxígeno, o el uso de flechas en diagramas biológicos para indicar direcciones de flujos y procesos, etc. Aprender ciencias implica para los alumnos aprender dichos convencionalismos, pero también implica negociar e instituir los propios. Los convencionalismos permiten expresar ideas mediante símbolos, signos o incluso materiales (por ejemplo, unas pelotas de polietileno pueden representar átomos). Así los alumnos generan inferencias, analogías y metáforas y a la vez materializan sus ideas para comunicarlas, lo que les ayuda a generar nuevo conocimiento (Thagard, 1992) y a desarrollar la creatividad (Goswami, 2009).

Según Lemke (1997) aprender ciencias es aprender a hablar ciencias. Ampliando esta idea podemos pensar en hablar ciencias como comunicarse en el lenguaje de las ciencias. Pero el lenguaje de las ciencias es multimodal (Kress et al., 2001). Podemos entonces decir que aprender ciencias es aprender a comunicarnos en ese lenguaje multimodal que incluye el uso de dibujos, maquetas, gráficas, signos y palabras.

La argumentación

La argumentación es una actividad que permite la evaluación del conocimiento a través de pruebas disponibles, permitiendo crear explicaciones y tomar decisiones justificadas; es decir, se requiere que el estudiante exponga las razones de sus conclusiones y justifique sus ideas (Jiménez-Aleixandre y Puig-Mauriz, 2010).

Un ejemplo de argumentación y uso de representaciones lo encontramos en Gómez (2005). Aquí los alumnos construyen, entre todo el grupo clase, una maqueta del bosque mediterráneo y simulan un incendio forestal. En la simulación han de tomar decisiones sobre cómo mover animales, definir procesos de sucesión, etc. Para esta toma de decisiones han de argumentar las razones usando evidencias, proporcionadas por la propia maqueta, y justificaciones, proporcionadas por el modelo de ser vivo que han construido en actividades anteriores y que evoluciona en la toma de decisiones y la argumentación (ver Figura 2).



Figura 2. Diferentes fases de la elaboración de la maqueta del bosque. Arriba a la izquierda maqueta sin plantas ni animales, a la derecha árboles y arbustos realizados por los niños y las niñas, abajo izquierda simulación del incendio, centro derecha, bosque quemado, centro regeneración del bosque simulando condiciones de lluvia normal y de sequía.

El uso de analogías y mediadores analógicos

La analogía es una competencia cognitivo-lingüística típica de las ciencias naturales que apoya la construcción de un pensamiento inferencial. Se trata de un recurso común del lenguaje y del pensamiento que consiste en buscar semejanzas entre dos situaciones, una conocida y otra novedosa, con el fin de dar sentido a la última por medio de la primera. Las situaciones (o "escenarios") que se comparan tienen una serie de significados asociados, por lo cual son llamadas campos semánticos. Llamamos campo fuente a la situación conocida –en el conocimiento de sentido común o la vida cotidiana– que sirve de punto de partida para la analogía y campo blanco a la situación de llegada, desconocida, que se quiere iluminar. El campo blanco está constituido por la ciencia escolar, que es el saber "deseable" tras la enseñanza.

En trabajos anteriores (Adúriz-Bravo, et al., 2005), hemos argumentado que un mediador funciona como heurístico para ayudar, en las clases de ciencias, a pensar, decir y hacer sobre el mundo de fenómenos sobre el cual se está trabajando. Se trata de un "modelo del modelo" que es luego representado. La maqueta comentada anteriormente funciona como un modelo del bosque mediterráneo que contiene los elementos esenciales para hablar, pensar y tomar decisiones. Los mediadores son de gran utilidad en el aula para "traer" fenómenos complejos, entenderlos y experimentar sobre ellos.

La mediación analógica permite también incorporar la experimentación y con ello elaborar datos y justificaciones en modelos de los cuales es compleja la realización de experimentos en el aula. Un ejemplo es el estudio del sistema nervioso. En este caso hemos analizado una analogía entre sensores (luz, temperatura y pH) y sentidos, de tal forma que los alumnos han podido argumentar usando un mediador analógico (Gómez y Adúriz-Bravo, en preparación).

Finalmente es importante hablar del contexto en el que tiene lugar la construcción de representaciones y la modelización, la ciencia escolar es una actividad situada (Lave, 2001). Así, la construcción de modelos por parte de los alumnos está mediada por la actividad que realizan (experimental, argumentativa, representacional) y por la colaboración con otros (compañeros o maestros). Un elemento que influye en la evolución de los modelos es la negociación social que se hace de las representaciones generadas. Ya Danish y Enyedy (2007) mencionan que la construcción de representaciones en clase es negociada en interacciones sociales.

Entendemos por negociación social todos los elementos que generan una comprensión compartida de la tarea a realizar, se trata de la generación de intra-subjetividades que permiten emerger en un grupo códigos de comunicación. Estos códigos se generan a través de gestos, palabras, dibujos, posturas del cuerpo, etc.

Los docentes juegan un papel importante en dicha negociación, ya que constantemente están buscando que la tarea a realizar sea comprendida por todos y todas. En investigaciones de antecedentes hemos encontrado diversas formas en que los docentes apoyan la negociación social de la representación. Por ejemplo, en Jardín de niños, la docente esperaba que estos imaginaran y representaran qué sucede dentro de su cuerpo cuando reciben un estímulo.

Para lo anterior la docente apoya la negociación social a través de la discusión de la tarea con los alumnos, de ejercicios de imaginación específicos solicitados, de proporcionar a los alumnos una silueta del cuerpo y escribir en la parte inferior de la hoja “lo que pasa dentro de mi cuerpo” (ver Gómez, 2009).

Finalmente se puede decir que el uso de representaciones para construir modelos escolares, y para ayudar a que evolucionen, es una tarea multifacética y compleja, donde diversos elementos confluyen. El uso coordinado de diversos modos comunicativos es un reto para los docentes y un tema de investigación abierto.

Bibliografía

Adúriz-Bravo, A., Gómez, A., Márquez, C. y Sanmartí, N. (2005). La mediación analógica en la ciencia escolar: la propuesta de “función modelo teórico”. *Enseñanza de las ciencias*, número extra: 1-5.

Buckley, B.C. (2000). Interactive multimedia and model-based learning in biology. *Int J. Sci. Edu*, 22(9): 895-935.

Concari, S. (2001). Las teorías y modelos en la explicación científica: implicancias para la enseñanza

de las ciencias. *Ciência & Educação*, 7(1): 85-94.

Danish, J. y Enyedy, N. (2007). Negotiated representational mediators: How young children decide what to include in their science representations, *Science Education*, 91(1): 1-35.

Develaki, M. (2007). The Model-Based View of Scientific Theories and the Structuring of School Science Programmes. *Science & Education* 16: 725—749.

Giere, R. N. (1992). *La explicación de la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo*. México: Conacyt. 354 pp.

Gómez, A. (en prensa). Explicaciones narrativas y modelización en la enseñanza de la biología. *Enseñanza de las ciencias.*

Gómez, A. (2005). La construcción de un modelo de ser vivo en la escuela primaria: Una visión escalar. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra. http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0809106-121708/

Gómez, A (2008). Construcción de explicaciones multimodales: ¿Qué aportan los diversos registros semióticos? *Revista latinoamericana de estudios educativos*, 4(2): 83 – 99.

Gómez, A. (2009). Un análisis desde la cognición distribuida en preescolar: el uso de dibujos y maquetas en la construcción de explicaciones sobre órganos de los sentidos y sistema nervioso, *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 14(41): 403-430.

Gómez, A., Adúriz-Bravo, A., (en preparación). Analogical models as mediators in school science modeling processes: A case study in biology education.

Goswami, U. (2009). Analogical rasoning in children. En *Models and analogies in science* Gentner, (Eds.) D.; Holyoak, J. And Hesse, M. Paris: Notre Dame University Press.

Harskamp, E.; Mayer, R. E.; Suhre, C. y Jansma, J. (2007). Does the modality principie for multimedia learning apply to science classrooms? *Learning and Instruction*, 17: 465-477.

Izquierdo, M., (2008). La organización y la secuenciación de los contenidos para su enseñanza. En Merino, C.; Gómez, A. y Adúriz-Bravo, A. (Eds.), *Formación en investigación para profesores: áreas y métodos de investigación en didáctica de las ciencias*, Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona, pp. 33-58.

Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12 (1):27-43.

Izquierdo, M., Espinet, M., García, M.P., Pujol, R.M. y Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias,* número extra, pp. 79-91.

Jiménez-Aleixandre, M. P. y Puig-Mauriz, B. (2010). Argumentación y evaluación de explicaciones causales en ciencias: el caso de la inteligencia, *Alambique*, 63: 11-18.

Johnson-Laird, P.N. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(2): 173-184.

Kress, G., Jewitt, C., Ogborn, J., & Tsatsarelis, C. H. (2001). *Multimodal teaching and learning. The rhetorics of the science classroom*. London: Continuum.

Krapas, S.; Queiroz, G.; Colinvaux, D. y Franco, C. (1997). Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciencias. *Investigações em Ensino de Ciências*, 2(3):185-205.

Lave, J. (2001), La práctica del aprendizaje. En *Estudiar las prácticas, perspectivas sobre actividad y contexto*, Chalkin, S. y Lave J. (Comps.). Buenos Aires: Amorrotu , pp. 15-45.

Lemke, J. L. (1997). *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores,* Barcelona: Paidós.

Márquez, C.; Izquierdo, M. y Espinet, M. (2006). Multimodal Science Teachers' Discourse in Modeling the Water Cycle. *Science Education,* 90: 202 – 226.

Mayer, R. y Moreno, R. (s/f). A cognitive theory of multimedia learning: implications for design principles. DOI: http://www.unm.edu/~moreno/PDFS/chi.pdf (consultado el 3 de mayo de 2012).

NSF (2001). *Molecular visualization in science education*, Arlington, VA: National Science Foundation.

Thagard, P. (1992). Analogy, explanation, and education. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6): 537-544.

Sanmartí, N. (2007). *10 ideas clave Evaluar para aprender*. España: Grao.

Sensevy, G.; Tiberghien, A.; Sylvain, J. & Griggs, P. (2008). An Epistemological Approach to Modeling: Cases Studies and Implications for Science Teaching. *Science Education*, 92:424 – 446.

Svoboda, J. y Passmore, C. (2011). The strategies of modelling in science education. *Sciencie education*. online first DOI: 10.1007/s11191-011-9425-5.

Viau, J.; Moro, L.; Zamorano R. y Gobbs, H. (2008). La transferencia epistemológica de un modelo didáctico analógico. *Eureka*, 5(2): 170-184.

Capítulo 4

CONOCIMIENTO PEDAGÓGICO DE CONTENIDO (PCK) DE PROFESORES SOBRE MODELIZACIÓN[1]

Rosária Justi y **Kristianne Lina Figueirêdo**
Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil,
rjusti@ufmg.br

Considerando que el reconocimiento del rol de los modelos y de la modelización en enseñanza de las ciencias es reciente, es necesario plantearse sobre los profesores que han sido formados en esta área sobre conocimientos y habilidades necesarias para enseñar bajo una perspectiva que se centra en la comprensión de los estudiantes acerca de la naturaleza de la ciencia (Justi y Van Driel, 2005). En este sentido Justi y Gilbert plantean que:

> "la mayoría de los profesores no poseen conocimiento amplio y prácticas relativas a la construcción de modelos para que los estudiantes aprendan ciencias bajo esta perspectiva y tampoco una formación adecuada sobre la naturaleza de la ciencia" (Justi & Gilbert, 2002, p. 384).

Por otro lado, creemos que para tratar de promover el desarrollo de conocimiento de los profesores, es necesario tener en cuenta sus conocimientos y los de los elementos que componen los conocimientos básicos acerca de los modelos y de modelización. Estas ideas son discutidas a continuación.

Conocimientos de los profesores

Teniendo en cuenta las descripciones y la caracterización de los conocimientos del profesor en la literatura (por ejemplo, Beijaard y Verloop, 1996; Gess-Newsome y Lederman, 1999), se puede decir que este se estructura a partir de las creencias y del contexto en el que el profesor se inserta. Tres formas de conocimiento son las principales: conocimiento declarativo (información objetiva, qué saber), conocimiento procedimental (utilizar conocimientos para los procesos, *know-how*) y conocimiento condicional (transferencia, saber cuándo y dónde aplicar el conocimiento declarativo y procedimental) (Alexander y Judy, 1988, citado por Gess-Newsome, 2003). Estas formas de conocimiento son consideradas como bloques de construcción del conocimiento conceptual de los profesores. El conocimiento conceptual, a su vez, se basa en la organización de estos bloques, una organización que se ve afectada por el contexto en que se adquiere el conocimiento y las creencias personales

[1] Traducción del capítulo del portugués al castellano por Laísa Freire dos Santos, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Merino, C., Arellano, M., Adúriz-Bravo, A (Eds.) *Avances en didáctica de la química: modelos y lenguaje.*
© 2014. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Impreso en Valparaíso, Chile.

que actúan como filtros en la adquisición de conocimientos y de su organización (Gess-Newsome, 2003). Por lo tanto, uno puede entender que la experiencia de la profesión docente se construye a partir de las concepciones individuales de los profesores –sus creencias– y de las situaciones que él vive a diario en el entorno escolar, es decir, se trata de un conocimiento práctico. Este conocimiento se asume aquí como la capacidad de adaptar los conocimientos teóricos y científicos relevantes para un determinado contenido para la enseñanza, motivando a los estudiantes para el aprendizaje significativo. En otras palabras, no concebimos la distancia entre el conocimiento teórico y práctico, sino que una relación de interdependencia.

Considerando la amplia dimensión del conocimiento de los profesores, Shulman (1987) describe siete categorías que definen sus conocimientos básicos: el conocimiento del contenido, conocimiento curricular, conocimiento pedagógico del contenido, el conocimiento pedagógico general, el conocimiento de los estudiantes y sus características, el conocimiento de contextos educativos y el conocimiento de los objetivos educativos.

Lee Shulman es un autor muy importante en esta área por el hecho de sus contribuciones pioneras, del impacto de su propuesta además de la construcción de las categorías de los conocimientos de básicos de los profesores. Sin embargo, otros autores contemporáneos a él (por ejemplo, Grossman, 1990; Tamir, 1988), basados en sus definiciones, desarrollaron una nueva propuesta de sistematización de dichos conocimientos. Para Shulman, las siete categorías corresponden a conocimientos que se desarrollan lado a lado, generando influencia uno en el otro, pero con una existencia independiente. Por otro lado, para autores que están de acuerdo con Grossman (1990), cuatro de estas categorías son dominios básicos de los profesores: conocimiento del contenido, conocimiento pedagógico general, conocimiento del contenido pedagógico y el conocimiento de los contextos educativos. Los otros conocimientos serían subdominios de conocimiento pedagógico del contenido.

Con el objetivo de discutir el tema central de este capítulo, es esencial caracterizar estas dos áreas: el conocimiento del contenido y el conocimiento pedagógico del contenido.

El conocimiento del contenido

Es la comprensión del contenido científico. Bajo la perspectiva de Hodson (1992, 2003) para la enseñanza de las ciencias, eso incluye la comprensión de los conceptos y procesos científicos de los aspectos de la historia, filosofía y metodología de la ciencia además de la capacidad de participar de actividades que resulten en la adquisición de conocimiento científico. Desde nuestro punto de vista, conocer un contenido específico de su área del conocimiento es importante para que el profesor desarrolle adecuadamente su función en la enseñanza. Sin embargo, conocer el contenido no garantiza que el profesor *sepa cómo enseñar,* es decir, no garantiza que él sepa cuál es el modo más efectivo para el abordaje del contenido para fines de la enseñanza[2].

[2] Comprender esa dimensión es importante para diferenciar el conocimiento del contenido pedagógico del contenido, que será presentado a continuación.

Conocimiento pedagógico del contenido (Pedagogical Content Knowledge – PCK[3])

Antes de presentar ese apartado, es conveniente resaltar que investigaciones sobre el PCK de los profesores han sido desarrolladas en función de ser reconocido un saber específico del profesional docente. El entendimiento del PCK en la enseñanza de las ciencias es un reflejo de la complejidad del área que exige que el docente comprenda el contenido de su asignatura y un conocimiento pedagógico asociado a su enseñanza. Lo que planteamos es que es esencial que los profesores realicen transposición didáctica de los conceptos más complejos de modo que favorezca el aprendizaje de los estudiantes. Además, es importante que los profesores reconozcan las principales dificultades e identifiquen lo que hace de su asignatura más fácil o más difícil de enseñar y aprender.

Así que asumimos el PCK como el principal mediador entre lo que los profesores saben (su conocimiento del contenido) y lo que ellos hacen en el aula y cómo lo hacen.

De acuerdo a la definición de Shulman, el PCK incluye:

> "los modos de representar y formular el contenido de forma que él pueda ser comprendido por otras personas (...) y la comprensión de los factores que contribuyen para que el aprendizaje del tema sea fácil o difícil" (Shulman, 1986, p. 9).

Según el autor, dicho conocimiento es más amplio que el conocimiento del tema (lo que es diferente del conocimiento del contenido), dirigiéndose para el conocimiento del tema para la enseñanza, de modo que se espera del profesor el conocimiento de muchas maneras de representación y formulación del tema con el objetivo de que sea comprendido por otros (el autor sugiere que formas alternativas de investigación basadas en la práctica sean del dominio del profesor). El considera también que para que el profesor conozca lo que es más fácil o difícil para el estudiante, es necesario que conozca los conceptos previos de los alumnos. Para tanto el PCK incluye el conocimiento de estrategias que lleven a tales concepciones y sean capaces de cambiarlas. Bajo esta perspectiva el autor considera que investigaciones sobre enseñanza y aprendizaje "*están en el centro de las necesidades para el desarrollo del PCK*" (Shulman, 1986, p. 10).

Al buscar una proyección del PCK docente en el área de la enseñanza de las ciencias, autores como Magnusson, Krajcik y Borko (1999) interpretaron las declaraciones de Shulman, redefiniendo algunos de los conocimientos citados por el autor como independientes del PCK. Para ellos, el conocimiento curricular, el conocimiento respecto a los estudiantes y sus características y el conocimiento de los objetivos educativos serían interdependientes e inherentes a este, es decir, que su desarrollo implica un desarrollo del propio PCK. La discusión de este entendimiento y sus relaciones, el cual compartimos, se presenta a continuación.

El punto de vista adoptado aquí puede ser representado por el diagrama de la Figura 1, que muestra conocimiento de los profesores que, en nuestra opinión, influyen en el desarrollo del PCK.

---

[3] Optamos por utilizar la sigla PCK, en inglés, por ser ella mundialmente utilizada en las referencias a este conocimiento de los profesores.



Figura 1. Componentes del PCK para la Enseñanza de las Ciencias (adaptado de Magnusson, Krajcik y Borko, 1999, p. 99).

Debido a la relevancia de tales conocimientos para otras discusiones, sigue nuestra interpretación de cada uno de ellos:

- *El conocimiento de currículo de ciencias* implica la comprensión de las formas de organización del conocimiento en asignaturas específicas utilizadas en un nivel escolar determinado (plan de estudios horizontal) y en cada uno de los diferentes niveles (plan de estudios vertical) y materiales curriculares. Este componente es un indicador de la comprensión de los profesores sobre la importancia y del rol de los temas en relación con el currículo. Hacia la construcción de PCK, que permite a los profesores identificar conceptos relevantes, cambiar actividades y eliminar los aspectos juzgados como secundarios para la comprensión conceptual central (Park & Oliver, 2008).
- El conocimiento de las estrategias de enseñanza fue el punto de partida utilizado por Shulman para la definición del PCK y, como se muestra por Borko y Putnam (1996), incluye el conocimiento de las herramientas pedagógicas de representaciones (modelos, metáforas, simulaciones, etcétera) con el fin de promover el aprendizaje de los estudiantes del contenido específico. Como una contribución al desarrollo del PCK, se espera que los profesores comprendan la variedad de materiales educativos y de las representaciones adecuadas en relación con diversos temas, y sepan diferenciar lo que sería más adecuado y coherente en su contexto educativo y cuáles serían las necesidades de sus alumnos, e incluso su adaptación para este fin.

- *Conocimiento de la comprensión de los estudiantes:* se refiere a la comprensión de cómo los estudiantes, en general y de forma individual, se enteran de un tema en particular. Esto implica conocer las concepciones de los estudiantes sobre temas en particular, dificultades del aprendizaje, la motivación, la diversidad de habilidades, estilo de aprendizaje, intereses, nivel de desarrollo y necesidades (Park & Oliver, 2008). Para un uso efectivo de PCK, los profesores necesitan saber lo que saben los estudiantes sobre las áreas de contenido determinado y cuáles son las dificultades más frecuentes.
- *El conocimiento de las evaluaciones de aprendizaje de los estudiantes* se compone de dos aspectos: i) conocer las dimensiones del aprendizaje de la ciencia que han de ser comprendidas por los estudiantes y por lo tanto evaluadas, y ii) conocer los métodos capaces de evaluar estas dimensiones coherente y eficientemente (Tamir, 1988). Mediante la inclusión de este componente en el PCK, creemos que la enseñanza efectiva depende de un aprendizaje supervisado, cuya eficiencia debe ser diagnosticada periódicamente teniendo en cuenta los aspectos relevantes e instrumentos de evaluación adecuados a ellos y al proceso de enseñanza.
- *Orientaciones para la enseñanza de las ciencias*. Nueve orientaciones son planteadas por Magnusson et al. (1999): proceso, rigor de la investigación, didáctica, cambio conceptual, actividad dirigida, descubierta, proyecto basado en ciencia, investigación e investigación guiada. Ellas están asociadas a las metas y objetivos que los profesores conocen, creen y definen para la enseñanza en cada nivel específico. Así que ellos pueden desarrollar sus prácticas en las clases bajo la premisa de una o más orientaciones conjugadas, lo mismo cambiar sus orientaciones con la experiencia diaria adquirida de los temas enseñados. Es decir, la experiencia cambia conocimientos y creencias, no por acaso, pero por acciones intencionales en las cuales los profesores escogen reconstruir su conocimiento sobre la realidad (Magnusson et al., 1999) cambiando las orientaciones. Considerando esa comprensión:

  > "las orientaciones para la enseñanza de las ciencias influencian la construcción del PCK por dibujar en un mapa conceptual que guía las decisiones, la utilización de un material curricular y/o estrategia particular y evaluaciones de aprendizaje de los estudiantes" (Borko & Putnam, 1996, p. 676).

A partir de la Figura 1, se afirma que el PCK es el resultado de una transformación de conocimientos adquiridos a partir de otros dominios, pero que todos ellos sufren influencia de las creencias de los profesores, del contexto en el cual están y de sus experiencias personales (formación, reflexión y práctica). En este sentido, los conocimientos comentados anteriormente, además de aquellos implícitos en el PCK (como el conocimiento del contenido y pedagógico), actuarían como suportes a su desarrollo, de modo que:

> "El PCK para la enseñanza efectiva es la integración de todos los aspectos presentados en alto grado de complexidad. Una falta de coherencia entre los componentes sería un problema dentro del desarrollo del PCK y el crecimiento del conocimiento de un único componente no es suficiente para estimular cambios" (Park & Oliver, 2008, p. 264).

Al caracterizar el PCK de esta manera, queremos destacar que la relación entre los conocimientos es muy compleja y debe ser consistente, ya que la excelencia de esta describiría el dominio de todos los aspectos sobre todos los temas (Magnusson et al. 1999). Asimismo, sostenemos la idea que el PCK supera la dimensión de la orientación para la enseñanza de la ciencia, ya que se correlaciona estos dominios y su alojamiento en la estructura cognitiva del profesor.

Modelos y modelaje en la ciencia y en la enseñanza de las ciencias

"Cuando empecé por la primera vez el curso de química, me quedé sorprendido al conocer cuanta oscuridad estaba alrededor de esta ciencia, aunque el profesor que eligiera para las clases era muy accesible a los principiantes y cuidaba para que se hiciera comprender."

(Sobre a Maneira de Ensinar a Química[4], A. L. Lavoisier)

Como presenta Lavoisier, la grande dificultad al aprender Química es respecto a un aspecto de la naturaleza de la ciencia el cual él refiere como 'oscuridad': su elevado grado de abstracción. La abstracción es consecuencia de las ideas principales y conceptos más fundamentales en esta área, que se expresa con más frecuencia a partir de modelos, que se define aquí como representaciones parciales no únicas, de objetos, eventos, procesos o ideas, desarrollados con objetivos específicos (Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000). Entre ellos, destacamos:

- favorecer la comunicación de ideas;
- favorecer la visualización de entidades abstractas;
- fundamentar la proposición y la interpretación de experimentos sobre la realidad;
- ser uno mediador entre la realidad modelada y teorías sobre ella, es decir, fundamentar la elaboración de *explicaciones* sobre la realidad; *cuestiones* sobre la realidad, sobre las teorías a ella relacionadas y sobre cómo la realidad y las teorías se relacionan; y *previsiones* sobre el comportamiento de la realidad en diferentes contextos (Francoeur, 1997; Vosniadou, 2002).

El desarrollo del conocimiento científico en relación con cualquier fenómeno se corresponde generalmente con la producción de una serie de modelos con diferentes alcances y capacidad de predicción. Por lo tanto, llamamos *modelaje* el proceso de elaborar, expresar y probar modelos de nuevo diseño. Pero esto no es un proceso sencillo o unidireccional. Al modelar algo, un individuo interpreta, evalúa e integra los elementos que permiten el estudio de una determinada entidad (objeto, proceso, idea), al proponer y probar los elementos de tales representaciones. En este sentido, el mo-

[4] Tomado de un manuscrito inédito que fue traducido al francés moderno y la pontuação añadida para facilitar la lectura. El texto en francés fue publicado como apéndice al artículo de Bernadette Bersaude-Vicent, "A View of the Chemical Revolution through Contemporary Textbooks: Lavoisier, Fourcroy and Chaptal" [British Journal of the History of Science, 23, 435-460, 1990]. A tradução brasileira é do prof. Luiz Otavio Fagundes Amaral, do Departamento de Química-ICEx, UFMG.

delaje se encuentra en el centro de la construcción dinámica y no lineal del conocimiento científico (Del Re, 2000; Giere, 1999).

Ciertamente, la construcción de modelos es un proceso dinámico y creativo que implica una gran cantidad de habilidades. Sin embargo, ha habido consenso entre los educadores y filósofos de la ciencia que algunas medidas son inherentes a este proceso. Desde la perspectiva que adoptamos en nuestro trabajo, consideramos que se trata de cuatro pasos y que cada uno influye en el otro, como se muestra en la Figura 2. En este caso, hemos elegido un tetraedro cuyas líneas contienen el doble de flechas exactamente para mostrar la existencia de influencias entre todos los pasos.

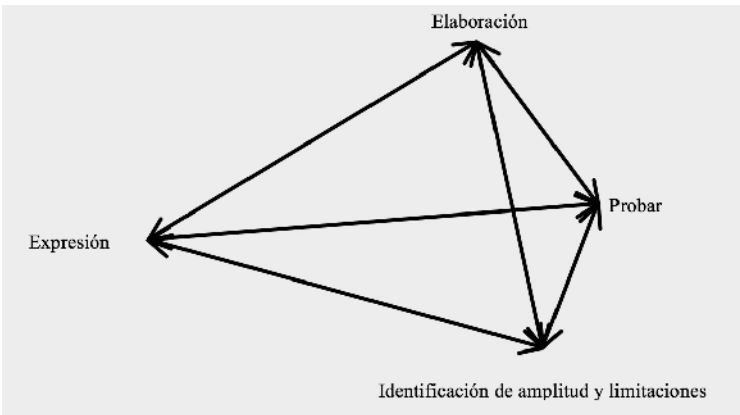


Figura 2. Relaciones entre las principales etapas del modelaje (Justi, en prensa, p. 16).

Los pasos que se presentan en la Figura 2 consisten en sub-etapas o elementos distintos. El desarrollo de un modelo mental se basa en la integración y la dinámica, a veces simultánea de la definición de los objetivos del modelo o en el caso de una situación de enseñanza, la comprensión de los objetivos propuestos por el profesor para el modelo; la información sobre la entidad para ser modelada (en la estructura cognitiva previa o a través de fuentes externas: bibliografía, actividades empíricas, etc); un modelo matemático o una analogía para apoyar el modelo, y la integración de la información en la propuesta de un modelo. La expresión del modelo mental puede ocurrir por el uso de cualquiera de los modos de representación (concreto, de dos dimensiones, es decir, dibujos, diagramas, etc., virtual, verbal, gestual, matemático).

Pruebas del modelo pueden ser de dos tipos –mentales y empíricas– en función de la entidad que está siendo modelada y de las condiciones disponibles para alcanzarlos. Por último, la identificación de los alcances y limitaciones del modelo ocurre a través de la oposición a su modelo con su(s) objetivo(s) y del intento de utilizar el modelo en diferentes contextos. Para más detalles sobre cada uno de los pasos involucrados en el modelaje, ver Justi (2006).

En cuanto a la pertinencia de la enseñanza de las ciencias ella debe ser más auténtica (Gilbert, 2004), es decir, favoreciendo el aprendizaje a los estudiantes de los conocimientos científicos y de los proce-

sos de razonamiento utilizado en la producción de los mismos, surge la posibilidad de involucrar a los estudiantes en actividades de modelización (es decir, actividades en las que los estudiantes deben experimentar las etapas de desarrollo de los modelos mentales para expresar esos modelos, prueba de ellos, remodelar y usarlos). Esto caracteriza lo que se llama la enseñanza basada en modelaje.

En los últimos años, varias investigaciones realizadas por nuestro grupo de investigación han sido contextualizadas en situaciones de enseñanza fundamentada en modelaje. Dichas investigaciones han demostrado que la mayoría de los estudiantes de las clases investigadas (Justi, Gilbert, & Queiroz, 2010; Maia & Justi, 2009a, 2009b; Mendonça & Justi, 2009, 2010; Souza & Justi, 2010) han resultado favorecidos por cuanto:

- aprende el contenido de forma significativa, es decir, desarrolla una comprensión que va más allá de la memorización de factos e informaciones;
- utiliza y/o desarrolla habilidades investigativas relacionadas a la conducción del modelo;
- desarrolla habilidades relevantes a la capacidad de visualización como, por ejemplo, comprender las convenciones de representaciones utilizadas en Química; transponer un modelo para otros modos en que él puede ser representado; construir una representación adecuada a un determinado propósito; y resolver nuevos problemas usando un abordaje basada en modelos (Gilbert, 2008).

Por otro lado, la propuesta de aprendizaje basada en modelos es relativamente nueva y sólo en los últimos años la investigación ha demostrado su éxito en términos de promover el aprendizaje del estudiante (como se hace en nuestro grupo, que se menciona en el párrafo anterior, o en otros contextos, por ejemplo los presentados en el reciente libro "Model Based Learning and Instruction in Science" - Clemente y Rea-Ramírez, 2008). Por lo tanto, consideramos sumamente importante que los profesores (y los futuros profesores) desarrollen sus conocimientos sobre modelaje con el fin de que esta propuesta sea más ampliamente utilizada en la enseñanza de las ciencias.

CONOCIMIENTOS DE LOS PROFESORES SOBRE MODELAJE

Pocas investigaciones han sido realizadas para caracterizar los conocimientos de los profesores de ciencias en el área de modelos (Crawford & Cullin, 2004; Harrison, 2001; van Driel & Verloop, 1999). Dichas investigaciones muestran, en general, que los conocimientos de los profesores en el área de modelos son inadecuados y en algunos contextos hasta inexistentes. Particularmente, señaladas investigaciones revelan que los profesores de química parecen direccionar sus prácticas a los contenidos de los modelos específicos y no en la naturaleza de ellos y tampoco en el proceso de sus elaboraciones. Así que no resaltan el rol de los modelos en el desarrollo del conocimiento químico. Además, un porcentaje grande de profesores, cuando preguntados respecto a la utilización de modelos en la enseñanza reconoce apenas la existencia de modelos de la enseñanza[5] concretos (en el caso de profesores de química, modelos moleculares). Así que, sus visiones sobre modelos y sobre

[5] Representações desenvolvidas com o objetivo específico de ajudar os estudantes a entender algum aspecto do modelo curricular (Gilbert et al., 2000).

su utilización en el aula necesitan ser mejorados para que sean capaces de conducir prácticas docentes que resulten en mejor comprensión por parte de los alumnos tanto sobre modelos científicos particulares cuanto sobre el papel de modelos en la producción del conocimiento científico (Justi & Gilbert, 2002).

Buscando contribuir para que el conocimiento de profesores sobre modelaje pueda ser desarrollado en procesos de formación inicial y/o continuada, buscamos, también, caracterizarlo. Por tanto, (i) estudiamos la literatura sobre los conocimientos básicos de profesores y sus adaptaciones para la enseñanza de las ciencias (por ejemplo, Magnusson et al., 1999; Shulman, 1986, 1987); (ii) estudiamos los pocos trabajos encontrados sobre conocimientos de profesores sobre modelaje (Justi, 2009; Justi & Gilbert, 2002; Justi & van Driel, 2005); y (iii) analizamos los datos de una investigación conducida en un contexto cuyo objetivo era promover y analizar el desarrollo del conocimiento de algunos profesores de química sobre modelos y modelaje (Figueirêdo, 2008; Figueirêdo & Justi, 2009). La caracterización planteó como resultado la proposición de una serie de categorías, presentadas a seguir.

Las dos primeras están relacionadas al conocimiento de los contenidos, es decir, al conocimiento sobre modelos y modelaje en la ciencia.

a) Ideas sobre modelos. Expresa un entendimiento o concepción del profesor sobre:

- Naturaleza: lo que es un modelo, cuáles son sus características intrínsecas como, por ejemplo, ser fruto de una actividad mental, poseer limitaciones, existencia de múltiplos modelos para una misma entidad, etc.
- Entidad: lo que puedo o no[6] ser modelado. Por ejemplo: entidades concretas o abstractas, procesos y fenómenos, objetos, ideas, etc.
- Uso: cuáles son los modelos. Por ejemplo, para la comprobación de hechos y explicaciones de los fenómenos, para favorecer la idea de algo abstracto, para expresar y comunicar ideas a otras personas.
- Estabilidad: la evolución de los modelos de acuerdo a las necesidades y evolución de la ciencia. Se incluyen ideas tales como que los modelos que son dinámicos no pueden ser juzgados como correctos, pero adecuados a una situación particular.

b) Ideas sobre proceso de modelaje. Expresa un entendimiento del profesor sobre:

- Objetivos: para qué y/o porqué los modelos son construidos y reformulados.
- Pasos a seguir en el desarrollo: cuáles etapas ocurren y/o son importantes en el proceso de modelaje.

---

[6] Entendemos que toda entidad puede ser modelada. Sin embargo, al analizar las ideas de los profesores, nos damos cuenta de que algunos creen que algunas entidades no podrían ser modeladas. Así que este aspecto se introdujo en esta categoría.

Las siguientes categorías están asociadas con el PCK de los profesores, de acuerdo con la definición asumida de este conocimiento en la primera parte de este capítulo.

c) Ideas sobre modelos y actividades y modelaje en la enseñanza. Expresa un entendimiento o concepción del profesor sobre:

- La validez / importancia en la educación: la influencia de la enseñanza basada en modelos y/o modelaje pueden llevar al estudiante a una formación general, en el supuesto de que el profesor entiende que estos aspectos son importantes en la formación de los mismos.
- Relevancia para la enseñanza de la ciencia: la influencia de la enseñanza basada en modelos y/o modelaje pueden llevar al estudiante a una formación general, en el supuesto de que el profesor entiende que estos aspectos son importantes en la formación de los mismos.
- El momento adecuado: cuando la introducción de este enfoque y la metodología de la educación es necesaria y / o más adecuada, o cuando no debe usarlo/la.

d) Utilización de modelos en la enseñanza. Expresa comprensión del profesor sobre:

- La existencia de varios modelos: la importancia del estudiante de comprenderlo, así como la razón de los varios modelos y la influencia del concepto en la formación del estudiante y en su aprendizaje sobre modelos y ciencia.
- Discusión de varios códigos de representación y sus limitaciones.

e) Desarrollo de estrategias de modelaje para la enseñanza. Expresa una comprensión de los docentes sobre:

- Preparación: aspectos que favorecen la enseñanza y el aprendizaje de un tema en particular.

f) Manejo de actividades sobre modelaje en la enseñanza. Expresa una comprensión de los docentes sobre:

- El rol del docente en las discusiones de los modelos de los estudiantes: en la medida en que el profesor puede o debe dar respuesta a las preguntas de los estudiantes o cuestionar sus dudas, lo que lleva a construir sus propias respuestas, hacer la prueba de sus ideas y concepciones y / o tenerlas en cuenta.
- Adaptaciones para los distintos contextos: el reconocimiento de cuestiones que pueden o deben ser incorporadas en las metodologías de enseñanza, y cómo lo deben hacer, cuando la estrategia de modelaje puede ser utilizada en su totalidad y, cuando esto no es viable; cuándo es apropiado y relevante para el aprendizaje del estudiante, adaptar las estrategias de modelaje, o extrapolar algunos aspectos –y cuáles– a otros contextos de la enseñanza en el supuesto de que el profesor valida la estrategia y/o aspectos de la promoción de un aprendizaje más eficaz.

- Las condiciones que favorecen a los estudiantes para realizar modelaje: acciones que pueden ayudar a los estudiantes a la experiencia de los pasos en la Figura 2. Dichas acciones contribuyen a los estudiantes a crear sus propios modelos, expresar sus modelos de modo coherente, poner a prueba y reformular sus modelos.

g) Ideas relacionadas con la comprensión de los estudiantes en los modelos y de modelaje. Expresa una comprensión de los docentes sobre:

- Relevancia: la contribución de los modelos y del modelaje para acceder a las ideas de los estudiantes y la importancia de conocer dichas ideas para conducción adecuada de estrategias de aprendizaje y / o para promover una educación que fomente el aprender de ellos.
- Los aspectos más fáciles y más difíciles de modelos: lo que el profesor sabe o cree sobre lo que es más difícil o más fácil para sus estudiantes con respecto a los modelos, y los factores que pueden interferir con esta dificultad.

h) Ideas sobre el desarrollo y evaluación de los estudiantes en el modelaje. Expresa una concepción de la comprensión del profesor sobre:

- El aprendizaje del estudiante: los beneficios para el aprendizaje de los estudiantes a partir de la enseñanza basada en modelaje.
- Métodos de Evaluación: reconocer las dimensiones que deben ser evaluadas y las posibles formas e instrumentos adecuados para evaluar conceptos aprendidos y habilidades desarrolladas por los estudiantes en el proceso.

i) Directrices para la enseñanza de las ciencias basado en modelaje. Metas y objetivos propuestos por el profesor para la enseñanza:

- Tipo de orientación: lo que el profesor considera que es importante que los estudiantes aprendan y la forma en que el aprendizaje puede ser mejorado.

FAVORECIMIENTO DEL DESARROLLO DEL PCK SOBRE MODELAJE: IMPLICACIONES PARA ACCIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS

Para posibilitar un significativo desarrollo de los elementos caracterizados anteriormente, es necesario que los profesores vivencien una formación que les conlleven a los debidos suportes teóricos y prácticos rumbo a sus realidades en la escuela. Sin embargo, solo recientemente algunos de estos aspectos fueron enfatizados en los cursos de formación de profesores de ciencias. No solo en relación a modelaje sino también al que se refiere al desarrollo de estos conocimientos en general (Justi & van Driel, 2005). Por eso, se puede considerar que el desarrollo de los conocimientos que componen el PCK docente, considerando variados métodos para la enseñanza (no solo el fundamentado en modelaje), ha sido favorecido, sobre todo, por la práctica y por las experiencias diversificadas del trabajo

en el aula, lo que resulta en que los docentes son bastante resistentes a cambios conceptuales. Eso porque cuando un profesor desarrolla un conocimiento a partir de su práctica y lo convalida con el tiempo, él consolida un saber experiencial que juzga bueno y luego, no necesita cambios.

Segundo Gess-Newsome (2003), las estructuras conceptuales de estos conocimientos pueden ser descritas como estables, visto las dificultades de cambios, pero todavía flexibles. Ella plantea que cambios en el conocimiento de los profesores pueden ser estimulados cuando son expuestos a nuevas experiencias e ideas, cuando utilizan el conocimiento, o bien cuando reflexionan activamente sobre él. Además, la autora reconoce que la "llave" para el proceso es la insatisfacción del profesor con las estructuras de conocimiento existentes. Sin embargo, a continuación de la problematización de dichas concepciones, la literatura sugiere todavía un largo camino para un proceso de formación que resulte en cambios en la práctica del profesor.

Bajo dicha perspectiva, hemos promovido y participado algunas acciones – en Brasil, en México y Colombia – pautadas, principalmente:

- En el involucramiento de profesores en situaciones de modelaje en contexto de formación;
- En el involucramiento de profesores en situaciones de elaboración de unidades didácticas fundamentadas en modelaje;
- En la utilización de estas unidades didácticas en sus clases;
- De compartir dichas experiencias docentes y de discutir todos los aspectos relacionados (sucesos, dudas, preocupaciones) en grupos colaborativos.

Algunos de sus resultados son encontrados en (Chamizo, Justi, & Garritz, 2009; Figueirêdo & Justi, 2009) o en la página web http://www.modelosymodelajecientifico.com/index.html, que presenta documentos en video relacionados a un proyecto de desarrollo de profesores realizado en México.

Bajo los resultados de estas acciones creemos que ellas pueden contribuir para cambios de los profesores frente a la enseñanza fundamentada en modelaje que resulte en mejor aprendizaje de los alumnos. Además, al punto en que dichas acciones estuvieren acompañadas de nuevas investigaciones, nuestro conocimiento sobre todos los procesos involucrados en el aprendizaje de los estudiantes puede ampliarse y cumplir un importante rol de la investigación: contribuir nuevamente a mejorar la enseñanza de las ciencias.

Bibliografía

Beijaard, D., & Verloop, N. (1996). Assessing Teachers' Practical Knowledge. *Studies in Educational Evaluation, 22*, 275-286.

Borko, H., & Putnam, R. (1996). Learning to teach. In D. C. Berliner & R. C. Calfee (Eds.), *Handbook of Educational Psychology* (pp. 673-708). New York: MacMillan.

Chamizo, J. A., Justi, R., & Garritz, A. (2009). *Teachers' PCK on Models and Modelling - Analysis of a Mexican Sample from an Integrated Theoretical Background*. Paper presented at the VIII Conference of the European Science Education Research Association.

Clement, J. J., & Rea-Ramirez, M. A. (2008). *Model Based Learning and Instruction in Science*. Dordrecht: Springer.

Crawford, B. A., & Cullin, M. J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modeling in science. *International Journal of Science Education, 26* (11), 1379-1401.

Del Re, G. (2000). Models and analogies in science. *HYLE, 6*, 3-12.

Figueirêdo, K. L. (2008). *Formação Continuada de Professores de Química Buscando Inovação, Autonomia e Colaboração: Análise do desenvolvimento de seus conhecimentos sobre modelagem a partir do envolvimento em pesquisa-ação em um grupo colaborativo.* Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

Figueirêdo, K. L., & Justi, R. (2009). Desenvolvimento do PCK de Professores sobre Modelagem a partir da Realização de Pesquisa-Ação em um Grupo Colaborativo. *Enseñanza de las Ciencias, 27* (extra), 701-705.

Francoeur, E. (1997). The Forgotten Tool: The Design and Use of Molecular Models. *Social Studies of Science, 27*, 7-40.

Gess-Newsome, J. (2003). *Implications of the Definitions of Knowledge and Beliefs on Research and Practice in Science Teacher Education.* Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Philadelphia, PA.

Gess-Newsome, J., & Lederman, N. G. (1999). *Examining Pedagogical Content Knowledge - The Constructs and its Implications for Science Education*. Dordrecht: Kluwer.

Giere, R. N. (1999). Using Models to Represent Reality. In L. Magnani, N. J. Nersessian & P. Thagard (Eds.), *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 41-57). New York: Kluwer and Plenum.

Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling: Routes to a more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education, 2*, 115-130.

Gilbert, J. K. (2008). Visualization: An Emergent Field of Practice and Enquiry in Science Education. In J. K. Gilbert, M. Reiner & M. Nakhleh (Eds.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (pp. 3-24). Dordrecht: Springer.

Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Dordrecht: Kluwer.

Grossman, P. L. (1990). *The Making of a Teacher: Teacher Knowledge and Teacher Education*. New York: Teachers College Press.

Harrison, A. (2001). *Models and PCK: Their relevance for practicing- and pre-service teachers.* Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, St. Louis, 25-28 March.

Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to

integration in science and science education. *International Journal of Science Education, 14* (5), 541-562.

Hodson, D. (2003). Time for action: science education for an alternative future. *International Journal of Science Education, 25*(6), 645-670.

Justi, R. (2006). La Enseñanza de Ciencias Basada en la Elaboración de Modelos. *Enseñanza de las Ciencias, 24* (2), 173-184.

Justi, R. (2009). Learning how to model in science classroom: key teacher's role in supporting the development of students' modelling skills. *Educación Química, 20*(1), 32-40.

Justi, R. (in print). Las concepciones de modelo de los alumnos y el aprendizaje de las ciencias. Una relación compleja y central en la enseñanza de las ciencias. In A. Caamaño (Ed.), *Didáctica de la física y química.* Barcelona: Editorial Graó.

Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education, 24*(4), 369-387.

Justi, R., Gilbert, J. K., & Queiroz, A. S. (2010). The use of a model of modelling to develop visualization during the learning of ionic bonding. In M. F. Tasar & G. Çakmakci (Eds.), *Contemporary Science Education Research: International Perspectives* (pp. 43-51). Ankara, Turkey: Pegem Akademi.

Justi, R., & van Driel, J. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing and understanding the process. *International Journal of Science Education, 27* (5), 549-573.

Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, Sources and Development of Pedagogical Content Knowledge for Science Teaching. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge - The Construct and its Implications for Science Education* (Vol. 6, pp. 95-132). Drodrecht: Kluwer.

Maia, P. F., & Justi, R. (2009a). Desenvolvimento de habilidades em atividades de modelagem. *Enseñanza de las Ciencias, 27* (extra), 776-779.

Maia, P. F., & Justi, R. (2009b). Learning of Chemical Equilibrium through Modelling-Based Teaching. *International Journal of Science Education, 31* (5), 603-630.

Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2009). Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: Análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem - Parte 2. *Educación Química, 20* (3), 373-382.

Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2010). Contributions of the Model of Modelling Diagram to the Learning of Ionic Bonding: Analysis of a Case Study. *Research in Science Education, on line*, 1-26.

Park, S., & Oliver, J. S. (2008). Revisiting the Conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK): PCK as a Conceptual Tool to Understand Teachers as Professionals. *Research in Science Education, 38*, 261-284.

Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher, 15*, 4-14.

Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review, 51* (1), 1-22.

Souza, V. C. A., & Justi, R. (2010). Estudo da utilização de modelagem como estratégia para fundamentar uma proposta de ensino relacionada à energia envolvida nas transformações químicas. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 10* (2), 1-26.

Tamir, P. (1988). Subject Matter and Related Pedagogical Knowledge in Teacher Education. *Teaching and Teacher Education, 4* (1), 99-110.

van Driel, J., & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of model and modelling in science. *International Journal of Science Education, 21* (11), 1141-1154.

Vosniadou, S. (2002). Mental Models in Conceptual Development. In L. Magnani & N. J. Nersessian (Eds.), *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values* (pp. 353-368). New York: Kluwer Academic and Plenum Publishers.

Capítulo 5

MODELOS Y MODELAJE EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS: UNA EXPERIENCIA DE FORMACIÓN CON PROFESORES MEXICANOS EN SERVICIO

José A. Chamizo[1] y **Alejandra García**
[1]Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, México,
jchamizo@unam.mx

En el ámbito de la enseñanza de las ciencias existe un consenso entre muchos educadores e investigadores que la educación tradicional, basada en la memorización de información, no ayuda a modificar las ideas que los alumnos traen al aula, ya que promueve un conocimiento superficial, fragmentado y difuso, y menos aún propicia habilidades de pensamiento científico (Chamizo, 2007). En las últimas décadas, el cambio en la enseñanza se ha dirigido hacia un modelo cognitivo de aprendizaje basado en la perspectiva constructivista, en la que una persona construye su propio conocimiento a través del establecimiento de relaciones entre lo que ya sabe y la nueva información que adquiere en su interacción con el mundo. Sin embargo, esta tendencia de la educación es un desafío importante para el profesor porque asume su papel de manera completamente diferente de lo que ocurre en la enseñanza tradicional (Chamizo, 2004; García Franco, et al., 2006). Lo anterior es también un reto para los programas de capacitación de docentes, ya que muchas veces los profesores se resisten a cambiar sus prácticas. Desde su conocimiento especializado, los profesores suelen filtrar la información recibida sobre nuevos métodos de enseñanza con el fin de adaptarla a su contextos, con pobres resultados (Supovitz y Turner, 2000). Hace ya muchos años Bordieu (1979), denunció la actitud pedagógica común, conforme a la cual los maestros no hacen más que reproducir (en realidad repetir) lo que ellos mismos aprendieron, y aquellos de sus alumnos que lleguen a ser maestros repetirán a su vez lo que aprendieron. De tal modo puede decirse que la pedagogía es la repetición indefinida y rara veces creación.

FORMACIÓN DOCENTE PARA LA ENSEÑANZA DE MODELOS Y MODELAJE

El uso de aproximaciones pedagógicas novedosas como los modelos y el modelaje pone demandas nuevas sobre los docentes e implica que éstos utilicen formas de enseñar que sean congruentes, tanto con la visión de la naturaleza de la ciencia, como con las aproximaciones pedagógicas señaladas. La propuesta de formación que aquí se presenta muestra cómo se pueden integrar marcos teóricos sobre la formación docente con el desarrollo del conocimiento específico sobre modelos y modelaje en un proceso de reflexión que privilegia el cambio en la práctica docente.

Merino, C., Arellano, M., Adúriz-Bravo, A (Eds.) *Avances en didáctica de la química: modelos y lenguaje.*
© 2014. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Impreso en Valparaíso, Chile.

Esta postura teórico-conceptual de orientación crítica y reflexiva ha sido identificada por diversos estudios como la más susceptible de favorecer un cambio en la práctica docente (Silva y Araújo, 2005). De acuerdo con ésta, se abandona la idea tradicional de formación de maestros mediante la adquisición de conocimientos específicos, conocimientos didácticos y aspectos psicopedagógicos descontextualizados de los docentes y se asume que la formación consiste en construir conocimientos sobre la práctica docente a partir de la reflexión crítica sobre ésta. Esta postura reflexiva requiere que el profesor no sólo conozca profundamente los contenidos que desea enseñar sino también que se pueda explicar a sí mismo, y a los demás, tanto sus prácticas escolares como las decisiones que toma alrededor de ellas, y pueda reconocer de qué forma promueven (o no) el aprendizaje de sus alumnos.

Desde esta perspectiva, es conveniente la participación de maestros en un ambiente de aprendizaje constructivista, lo cual significa una participación activa de los profesores en su formación, en la que exponen y discuten sus ideas y conocimientos previos, analizan y reflexionan críticamente su práctica en busca de cambios y mejoras en ella a través de la construcción consciente de nuevos conocimientos basados en su experiencia y creencias.

Como ya ha analizado Shulman (1986, 1987), los conocimientos de los profesores pueden referirse a distintos aspectos (curricular, de contenido, contextual, entre otros), sin embargo, de acuerdo con el enfoque de este trabajo, centrado en la enseñanza de las ciencias, el conocimiento pedagógico del contenido (CPC) es especialmente importante. La propuesta de Shulman, que está de acuerdo con la de otros autores, como Magnusson, Krajcik y Borko (1999), Borko y Putnam (1996), y Gess-Newsome (2003), considera que el CPC tiene dos componentes (Shulman, 1986, p. 9).

“Formas de representar y formular los contenidos para que puedan ser entendido por otros” y “la comprensión de los factores que contribuyen para que el aprendizaje de un tema sea fácil o difícil”.

El CPC es el principal mediador entre lo que el maestro sabe y lo que moviliza en el aula y cómo lo hace. Así, es un conocimiento complejo, resultado de una transformación de los conocimientos de otras áreas, que a su vez, están influidos por las creencias de los profesores, el contexto en que se desarrollan, y sus experiencias personales (formación, reflexión, y práctica).

Para construir este escenario, que alienta a los maestros a construir su CPC, entender la práctica y reflexionar sobre nuevas estrategias de enseñanza, en esta propuesta se integraron tres marcos teóricos: de Razonamiento Pedagógico (Feldman, 1996), de Acción Cooperativa de Investigación (Burbank y Kauchak, 2003), y de Investigación-Acción (Latorre, 2004). En la Figura 1 se presenta un diagrama en el que se da cuenta de los tres referentes teóricos que dieron origen a la propuesta de formación continua que se utilizó en la investigacion que aquí se presenta.

Es ampliamente reconocido el papel preponderante que juegan los modelos en la construcción de la ciencia y los distintos roles que éstos pueden tener (Justi y Gilbert, 2002b). De acuerdo con Gilbert y Boulter (1998) la producción y uso de los modelos es una de las características de la ciencia y, de hecho, el modelaje puede considerarse como la esencia del proceso dinámico y no lineal mediante el que se desarrolla el conocimiento científico (Vosniadou, 2002). El uso de modelos y modelaje en las

clases de ciencias puede favorecer el logro de los propósitos de la educación científica según Hodson (1992): aprender los modelos de la ciencia; aprender sobre la forma en la que se construyen estos modelos; y aprender sobre el papel que los modelos juegan en la diseminación y acreditación del conocimiento científico (Justi y Gilbert, 2002a).

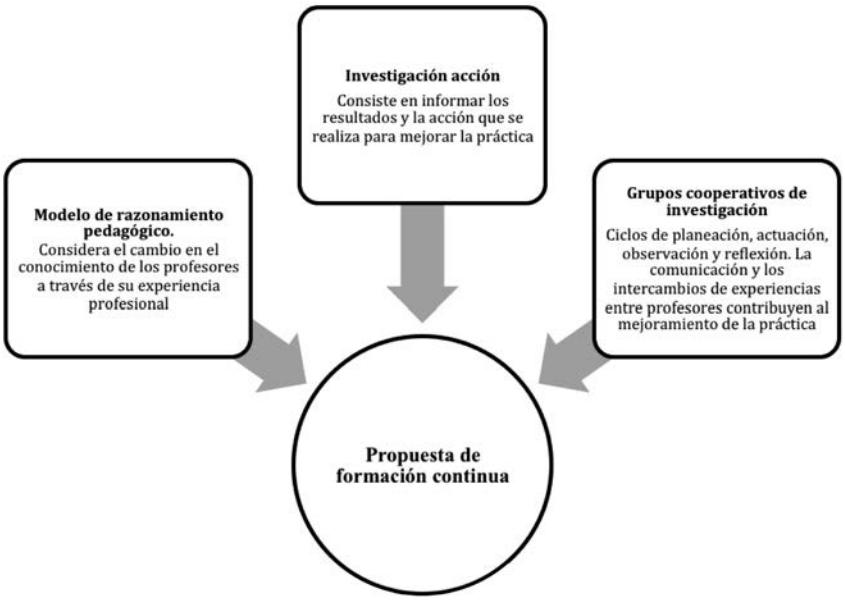


Figura 1. Referentes teóricos que dan origen al proceso de formación.

Los modelos se reconocen como centrales en la construcción de la química (Suckling, et al., 1978), proceso que se lleva a cabo con una lógica particular, mediante un lenguaje específico y también bajo ciertos principios filosóficos (Chamizo e Izquierdo, 2007). Por ello, es importante que los profesores que enseñan química puedan enseñar también cómo es que ésta se construye, cómo se transforma y cómo se comunica dentro de nuestra sociedad. Para todos estos propósitos el uso de los modelos y el modelaje son indispensables pues forman parte central del conocimiento químico y de la forma en la que éste se construye (Chamizo, 2009).

Si los modelos son tan importantes en la construcción y comprensión del conocimiento científico deberían ser igualmente importantes en los procesos de enseñanza aprendizaje de la ciencia, para lo cual sería necesario que los profesores contaran con un conocimiento tanto de los modelos en la ciencia como del proceso de modelaje.

Además de la relevancia de los modelos y el modelaje en el proceso de construcción de la ciencia, los cambios curriculares recientes tanto en México como en el resto del mundo requieren que los docentes promuevan una visión humana de la naturaleza de la ciencia y del trabajo científico (SEP,

2006). Los docentes se enfrentan no sólo a un nuevo currículo sino que también se espera que adopten aproximaciones pedagógicas novedosas tales como situar al estudiante en el centro del aprendizaje y evaluar de manera formativa a los estudiantes. Esto pone demandas nuevas sobre los docentes e implica que éstos utilicen formas de enseñar que sean congruentes tanto con la visión de la naturaleza de la ciencia como con las aproximaciones pedagógicas propuestas.

La investigación ha mostrado que el conocimiento de los maestros y los alumnos, en cuanto a la importancia de los modelos y el modelaje en la ciencia, y acerca de la forma en la que los científicos utilizan los modelos es bastante limitado (Justi y Gilbert, 2002a; Justi y van Driel, 2005; Grosslight, et al, 1991). En su estudio sobre las actitudes de los profesores hacia el uso de los modelos y el modelaje en la enseñanza, Justi y Gilbert (2002b) encontraron que los profesores reconocen el valor de los modelos en el aprendizaje de la ciencia pero no reconocen su valor en el aprendizaje acerca de la ciencia. Encontraron que el modelaje no es una actividad que los estudiantes practiquen comúnmente en el salón de clases, si bien, algunos estudios han mostrado que unos pocos estudiantes identifican a los modelos y al modelaje como partes fundamentales del quehacer científico.

Algunos estudios han mostrado que cuando hay una enseñanza explícita sobre los modelos y el modelaje se obtienen resultados exitosos, siempre y cuando los docentes cuenten con una comprensión válida de los modelos y el modelaje y acerca de su relevancia en la construcción y aprendizaje de la ciencia (Justi y Gilbert, 2002b). Por ejemplo, Henze, van Driel y Verloop (2007) encontraron que cuando los profesores trabajan con un currículo que tiene a los modelos como un componente central sí es frecuente que utilicen las estrategias de modelos y modelaje en el salón de clases. De ahí la importancia de proponer un programa de formación para docentes que tiene en su centro las ideas de los modelos y el modelaje y que promueve la reflexión continua de los profesores respecto a estos temas.

Las experiencias muestran que aprender a enseñar mediante el uso de modelos y modelaje es una tarea compleja y dinámica que requiere de diversas aproximaciones y que es un proceso lento. En este proceso es central el conocimiento de los docentes respecto a los modelos y el modelaje y las oportunidades que éstos tienen para llevar a cabo actividades que los involucren de forma explícita.

De acuerdo con Justi y Gilbert (2002a, b), algunos de los objetivos que se esperaría conseguir con un programa de formación de docentes que considere los modelos y el modelaje de forma explícita son:

- Que los docentes tengan una comprensión de la naturaleza de un modelo en general, lo cual incluiría aspectos como qué es un modelo, para qué puede usarse, las entidades de las que consiste, su unicidad relativa, el tiempo histórico en el que fue válido, su capacidad para hacer predicciones y las bases para la acreditación de su existencia y su uso.
- Que los docentes tengan la habilidad para desarrollar buenas estrategias de enseñanza, es decir, aquellas que facilitan la comprensión de los estudiantes sobre los modelos.
- Que los docentes tengan la habilidad para llevar a cabo actividades de modelaje en sus aulas.

La evolución de los docentes en relación con los dos primeros objetivos está relacionada con el desarrollo del CPC sobre los modelos mientras que la capacidad de realizar actividades de modelaje se asocia con el desarrollo del CPC sobre modelaje. Esta última se caracteriza por saber cómo, cuándo y por qué, el modelo debería ser incorporado en la enseñanza, saber cómo llevar a cabo actividades de modelaje, entender cómo los alumnos construyen sus modelos y hacer frente a los modelos expresados por ellos, además de usar diferentes instrumentos de evaluación que permitan reconocer las habilidades aprendidas por los estudiantes (Figueiredo, 2008).

CAMINOS METODOLÓGICOS

En este proceso de formación profesional participaron seis docentes que fueron convocados de manera directa porque habían participado en otras experiencias de formación con los investigadores involucrados y porque habían mostrado interés para transformar su manera de enseñar ciencias. Aunque esta es una muestra pequeña y no representativa asumimos que las características de estos docentes fueron fundamentales para el tipo de proceso de formación que se lleva a cabo. Los estudiantes de cinco de ellos provenían del tercer año de secundaria (alumnos entre 13 y 15 años y un grupo de adultos) y del último provenían del bachillerato (estudiantes entre 15 y 18 años). La experiencia docente, así como la formación inicial y el centro de trabajo de cada uno de los docentes tienen características muy distintas, lo cual permite tener un panorama de diversos elementos que juegan un papel importante en la formación de profesores. En la Tabla 1 pueden verse las características de los docentes.

El trabajo se desarrolló como un proceso de investigación-acción en el que los grupos de profesores participaron en un grupo colaborativo con dos investigadores universitarios. La propuesta se desarrolló en tres momentos distintos, como se indica en la Tabla 2.

Tabla 1. Características de los docentes.

Docente	Años de experiencia	Formación inicial	Tipo de institución en la que labora
DM-1	25	Normal Superior	Escuela Secundaria Técnica Oficial
DM-2	22	Psicóloga	Telesecundaria
DM-3	15	Química Farmacéutica Bióloga	Escuela Secundaria Privada
DM-4	3	Química	Instituto de Educación Media Superior (Bachillerato) Oficial
DM-5	25	Ingeniero Químico	Escuela Secundaria Nocturna para Trabajadores
DM-6	20	Química	Escuela Secundaria Privada

Etapa 1. El taller que se desarrolló en la primera parte tuvo como objetivos específicos:

- Conocer la aproximación de modelos y modelaje (Tablas 3 y 4).
- Tener experiencias con actividades de modelos y modelaje.
- Familiarizarse con experiencias construidas y puestas en práctica en otros contextos.
- Reflexionar sobre el papel del profesor en la conducción de actividades de modelaje.
- Reflexionar sobre la posibilidad de llevar a cabo esta aproximación en el aula.

Tabla 2. Características generales del proceso de formación docente colaborativo.

ETAPA	MOMENTO	PROPÓSITO GENERAL
1	Taller	Sesión de naturaleza colaborativa en busca de: Desafiar a los profesores sobre su conocimiento previo y sobre su práctica docente; Promover una oportunidad de discusión entre ellos acerca de la utilización de los modelos en la enseñanza.
2	Elaboración de unidades didácticas basadas en modelos y modelaje	Investigación-acción colaborativa en busca de: Dar oportunidad a los profesores de poner en práctica y adaptar a sus contextos específicos los aspectos teóricos discutidos y ejemplificados en la etapa anterior a través de la elaboración de una unidad didáctica; Promover el aprendizaje a través de la acción.
3	Aplicación de las unidades didácticas en los salones de clase de cada profesor acompañadas de discusiones paralelas sobre la misma aplicación	Investigación-acción colaborativa en busca de: Fomentar, promover y ayudar a los profesores a entender el proceso en conjunto, concretando la estrategia desarrollada para ellos en el contexto en el que laboran cotidianamente; Promover la apreciación de la propuesta de enseñanza con los maestros y reflexionar y evaluar los resultados de sus prácticas de enseñanza.

Tabla 3. Definición y caracterización de los modelos (Modificado de Chamizo, 2010).

La palabra modelo es polisémica; se ha empleado y se emplea aún con sentidos diversos. Por un lado es ejemplar, es decir, indica aquellas cosas, actitudes o personas que se propone imitar. La valentía de un guerrero, la inteligencia de un sabio, la solidaridad de un médico, la velocidad de un corredor o la belleza de una mujer son ejemplos de modelos en este sentido. En el presente texto se emplea la palabra modelo en su otro y también generalizado sentido. Así, aquí:

Los modelos (**m**) son representaciones, basadas generalmente en analogías, que se construyen contextualizando cierta porción del mundo (**M**), con un objetivo específico.

En esta definición todas las palabras son importantes: las representaciones son fundamentalmente ideas, aunque no necesariamente ya que también pueden ser objetos materiales. Las representaciones no son por sí mismas, y valga la redundancia, autoidentificantes. Las representaciones lo son de alguien que las identifica como tales. Una analogía está constituida por aquellos rasgos o propiedades que sabemos similares en **m** y **M**. Que se construyen contextualizando, remite a un tiempo y lugar históricamente definido lo que además enmarca la representación; cierta porción del mundo indica su carácter limitado, los modelos son respecto al mundo **M** parciales. Un objetivo específico, establece su finalidad, general pero no necesariamente, el explicar. Hay que recordar que la explicación es una de las más significativas características de las ciencias pero que en determinados casos aún sin poder del todo explicar una buena parte de su prestigio radica en predecir.

Los modelos (**m**) son representaciones, basadas generalmente en analogías. Así pueden ser semejantes a esa porción del mundo que representan, generalmente más sencillos, pero no enteramente, de manera que se pueden derivar hipótesis (y/o predicciones) del mismo y someterlas a prueba. Los resultados de esta prueba dan nueva información sobre el modelo. Los modelos pueden ser: mentales y materiales.

Los modelos mentales son representaciones plasmadas en la memoria episódica (aquella de largo plazo, explícita y declarativa) construidos por nosotros para dar cuenta de (dilucidar, explicar, predecir) una situación. Son los precursores de las conocidas "ideas previas" o concepciones alternativas y en ocasiones pueden ser equivalentes.

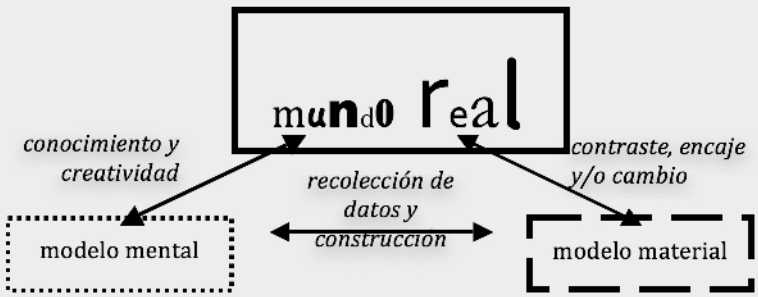
Los modelos materiales (que también pueden ser identificados como prototipos) son a los que tenemos acceso empírico y han sido construidos para comunicarse con otros individuos. Los modelos materiales son los modelos mentales expresados a través de un lenguaje específico, como el de las matemáticas o la química. Hablamos entonces de modelos materiales simbólicos y que son, cuando los símbolos corresponden a las matemáticas, aquellas ecuaciones construidas para describir precisamente la porción del mundo que se está modelando. Los modelos materiales simbólicos (matemáticos) representan las regularidades que las comunidades científicas en diversos momentos de su historia identifican en cierta porción del mundo (**M**) y que conocidas como leyes son la manera más común, que no la única, de explicar en la tradición científica. Otro ejemplo de modelo material simbólico es con el que los químicos representamos elementos, compuestos y reacciones.

Los modelos materiales también pueden ser experimentales como las ratas macho Sprague-Dawley que se utilizan de manera estandarizada en las investigaciones biomédicas para modelar enfermedades o la acción de posibles remedios para las mismas (piénsese en ellas como una especie de maqueta robot no construida por nosotros). Modelos materiales experimentales también lo son los aparatos, como el famoso de Urey-Miller (sobre las condiciones originales de la atmósfera terrestre que permitieron la generación de aminoácidos) o el tokomac (en los que se estudian las reacciones de fisión que se producen en las estrellas) con los que se realizan experimentos que simulan un determinado aspecto del mundo (**M**).

Los modelos materiales pueden ser también icónicos (imágenes, diagramas y maquetas) como un mapa, o los llamados 'modelos moleculares', y cuyo más famoso ejemplar es el de la molécula de ADN por Watson y Crick. Aquí hay que separar que mientras las imágenes (como las fotografías en su caso más extremo) son iconos unívocos, los diagramas (como tantos que aparecen en los libros de texto) son iconos análogos.

Tabla 4. Caracterización del Modelaje (modificado de Chamizo, 2010).

La actividad científica consiste, fundamentalmente, en la construcción y validación de modelos y modelar es construir modelos. Ahora bien la actividad científica no empieza en los hechos, sino en las preguntas; y las preguntas dependen del marco teórico desde el cual se formulan. Así, los hechos no son independientes de los observadores y de sus maneras de ver el mundo. La sociedad en que viven día a día la comunidad científica, los docentes y los alumnos (los dos últimos en un proyecto de ciencia escolar) determina o limita el tipo de preguntas que se hacen o que pueden responder ellos mismos, además de influir en sus conclusiones, debido a la presencia o ausencia de programas educativos o de investigación científica, de reconocimientos o castigos a la misma actividad y de tolerancia o imposición de áreas de investigación. Un primer esquema sobre los modelos y el modelaje se muestra a continuación en donde el resultado obtenido de enlazar los tres cuadros a través de las tres funciones es conocimiento, ya sea este escolar o científico.



Así, a partir de las preguntas, se deriva la construcción de un primer modelo: un modelo mental. La flecha que une ambos cuadros tiene dos puntas porque asume que las preguntas dependen de la estructura mental del individuo que las realiza, y por el otro defiende la postura empirista de acuerdo con la cual la representación depende en su totalidad de los datos obtenidos a partir de la percepción del mundo. Lo anterior recordando que los modelos se construyen contextualizando una determinada porción del mundo con un objetivo específico. No hay ni reglas, ni métodos para aprender a hacerlo, pero sin duda requiere de dos condiciones: conocimiento (para saber, hasta donde sea posible, cómo es esa porción del mundo); imaginación y creatividad (para diseñar virtualmente el modelo compatible con esa porción del mundo de acuerdo al objetivo establecido).

El segundo paso en el modelaje consiste en expresar el modelo mental construyendo un modelo material. La expresión es, comparada con la riqueza y diversidad del modelo mental, necesariamente limitada. La persona(s) que está modelando considera los aspectos más relevantes del modelo mental, recolecta datos, corrige, recomienza, afina y finalmente arriba a una versión final del modelo material. Aquí se promueve una primera discusión entre los diversos constructores del modelo Es un proceso de ida y vuelta que se construye generalmente contestando las pregunta ¿qué pasaría si? o ¿cómo explicar esto? de allí que la flecha que une ambos cuadros también sea bidireccional. Finalmente el modelo material debe ser sometidos a la prueba más importante que es la del experimento real, siempre y cuando éste sea posible. El contraste y encaje entre el modelo material y el mundo real implica la observación del modelo material y la conducta del objeto, fenómeno o sistema de

referencia. Es una observación pública indicada con una flecha también bidireccional, una vez que resultado de la misma observación se pueden realizar adecuaciones al modelo material de manera que encaje de la mejor manera con el mundo real. En el encaje se prioriza la calidad de la explicación y de las predicciones hechas por el modelo. Aquí, dependiendo de la postura filosófica de la persona o la comunidad que construyó el modelo se puede ser más o menos estricto haciendo notar que un modelo material puede ser más adecuado para cierta realidad concreta, tal y como un traje le puede quedar bien a una persona y mal a otra.

Las actividades en el taller fueron diversas, pasando por el reconocimiento compartido de las ideas de los profesores sobre el tema, hasta el análisis de videos en los que se presentaban grupos de estudiantes llevando a cabo secuencias sobre modelos y modelaje, lo cual permitió a los docentes compartir sus inquietudes sobre la manera de llevar un enfoque como éste al aula, el tiempo que debiera invertirse, el manejo del grupo que debe tenerse, las diferentes maneras en que podría evaluarse etc.

Posteriormente los profesores decidieron replicar algunas de las actividades en su salón de clases con el fin de generar experiencia en el uso de modelos y modelaje en el aula. Para ello diseñaron en conjunto una secuencia para enseñar y evaluar el tema de disoluciones y después la pusieron en práctica con sus estudiantes. Esto permitió generar evidencia sobre la forma en la que los estudiantes utilizan y comprenden los modelos. Para los docentes este trabajo fue fundamental pues les permitió adquirir experiencia respecto al tipo de respuestas de los estudiantes, así como reconocer la diversidad de las ideas que tienen. Se hizo especial énfasis en que una de las actividades de esta secuencia se utilizara de manera explícita como evaluación, dado que éste es una de las preocupaciones de los docentes (Duit y Glynn, 1996).

Etapa 2

En la segunda etapa, el diseño de unidades didácticas, los profesores formaron equipos de trabajo que tenían como objetivo construir una secuencia didáctica para algún tema específico. Se eligieron los temas de enlace químico, mol y corrosión, todos ellos considerados en los programas oficiales (SEP, 2006). Estas secuencias fueron compartidas y revisadas con el grupo completo y en sesiones con los investigadores, lo cual generó un intercambio que permitió enriquecerlas incorporando diferentes puntos de vista. Los profesores tuvieron oportunidad de desarrollar su conocimiento respecto al tema químico elegido, además de aspectos explícitos de la construcción de modelos. Este tipo de actividades permite a los profesores y profesoras reconocer su capacidad para desarrollar estrategias basadas en el marco teórico propuesto y darse cuenta de su aplicabilidad en el contexto real de su práctica, en sus aulas, con sus alumnos, lo cual resulta indispensable en un proceso de formación profesional de orientación crítica-reflexiva puesto que pone en manos de los docentes (y no de los investigadores, o de los diseñadores del currículo, o de los libros de texto) tanto el diseño de actividades, como su implementación y transformación.

Etapa 3

En la tercera etapa, estas secuencias fueron puestas en práctica por los profesores con sus grupos de estudiantes y fueron filmadas para poder ser compartidas. Esta etapa requirió la recolección y análisis de los materiales producidos por los alumnos, lo cual permite la evaluación crítica de la implementación de la secuencia, y promueve transformaciones en la práctica docente. Las reflexiones de los docentes respecto a este proceso fueron recuperadas mediante una entrevista y también en sesiones colaborativas de discusión.

Algunos fragmentos de los videos que se produjeron como parte de la implementación de las secuencias didáctica pueden encontrarse en la página web http://www.modelosymodelajecientifico.com/02-MEDIATECA/index.html. La intención de tener esta página web es dar algunos elementos tangibles a otros profesores quienes busquen desarrollar secuencias didácticas basadas en los modelos y el modelaje de cómo es que éstas se llevan a cabo en aulas 'normales' y cómo los elementos de la aproximación se concretan en el trabajo en el salón de clases.

En reuniones posteriores se analizaron los resultados, se propusieron mejoras y los profesores reescribieron las secuencias para presentarlas en un evento académico (VIII Convención Nacional y I Internacional de la Academia Mexicana de Profesores de Ciencias Naturales, Zacatecas) y para publicarlas en un libro que compila la experiencia (Chamizo y García Franco, 2010) y recoge la narración de las parejas de profesores sobre el proceso de construcción de las secuencias además, de presentar una versión de la secuencia con indicaciones para los profesores o profesoras que quieran utilizarlos.

CONCLUSIONES

En el programa de formación presentado se consideraron los elementos identificados en la investigación de acuerdo con los cuales en un programa de formación efectivo, los maestros y maestras participantes no solamente conocen una nueva forma de enseñar ciencias, sino que también se comprometen con ella al incorporarla en su práctica docente.

Algunas de las características que fueron relevantes para el proceso de formación y que son identificadas por los docentes son:

- La posibilidad de compartir dudas e inquietudes con el grupo de profesores que aun teniendo experiencias laborales distintas, reconocen similitudes y pueden ofrecer elementos de análisis y reflexión común.
- La generación de evidencia sobre la forma en la que los estudiantes utilizan y comprenden los modelos a partir del diseño compartido de una unidad didáctica y su enseñanza.
- El hecho de que desde un inicio se plantee que las secuencias didácticas pueden ser llevadas a cabo en el aula y que se harán en un tiempo 'normal' destinando para ello el número de horas planeadas.

- El intercambio de experiencias en el diseño de las unidades didácticas permitió enriquecerlas incorporando diferentes puntos de vista. Los profesores tuvieron oportunidad de desarrollar su conocimiento respecto al tema químico elegido, además de aspectos explícitos de la construcción de modelos.
- Contar con un marco de análisis que permita el desarrollo más estructurado de las actividades y que al mismo tiempo facilite tener elementos para hacer modificaciones si así se requiere.

Durante esta experiencia de formación los profesores y profesoras adquirieron conocimiento sobre los modelos y el proceso de modelaje (el papel que juegan en la construcción del conocimiento científico, el proceso mediante el que se transforman, la manera en la que se evalúan) y también desarrollaron su CPC sobre modelos y modelaje. Este aprendizaje se llevó a cabo en un proceso que integraba continuamente la reflexión teórica con la práctica, ya que los profesores llevaban a cabo actividades de modelaje en las reuniones periódicas y con sus estudiantes en el salón de clases. Este proceso continuo promueve que los docentes construyan concepciones sobre el aprendizaje, la enseñanza y la ciencia que están de acuerdo con las visiones actuales y que pueden implicar una transformación profunda de su práctica docente. Sin embargo, es importante destacar que el proceso de desarrollo del CPC de los docentes no fue instantáneo y sin problemas. Para la mayoría de los profesores, sus nuevos conocimientos se han ido consolidando. Creemos que esto fue posible debido a que:

- Cada uno se da cuenta de la validez de la propuesta por los informes de otros profesores en el grupo y, sobre todo, al desarrollar una unidad didáctica que se aplica en el aula. Por lo tanto, más que exponer los objetivos directrices coherentes, cada maestro tiene que reconocer las acciones necesarias para trabajar en esta perspectiva.
- Cada maestro trabajó en su propio contexto, desarrollando una nueva propuesta de enseñanza y podía reconocer las consecuencias de esta innovación. De los resultados positivos identificados por los maestros, tanto en el aprendizaje de los estudiantes como del conocimiento de la propuesta surgió una importante satisfacción con ellos mismos y sus prácticas. Creemos que esto favorece un cambio más profundo en sus propias prácticas.

Por último, la promoción de la praxis durante todo el proyecto abre la puerta para una posible mejora y renovación continua de los docentes y sus prácticas. Teniendo en cuenta esto, creemos que los resultados de este estudio apuntan a la validez de la formación de grupos colaborativos, de investigación-acción cooperativa, especialmente en las universidades. Esto implica la necesidad de difusión de las propuestas de este tipo entre los formadores de docentes, de forma que esta práctica pueda ser incorporada en otros programas, incluidos los cursos de formación inicial para futuros profesores.

Es claro que propuestas como la presentada implican una inversión importante de tiempo y un compromiso de parte de los profesores, sin embargo, éstos consideran que vale la pena el esfuerzo y el trabajo puesto que han encontrado elementos de modificación real de la práctica docente.

Terminamos con la reflexión final de una profesora y nos sumamos a ella:

> "Sabemos que este trabajo no termina aquí, éste es sólo el comienzo ya que falta mucho por hacer en lo que se refiere al uso de modelos y modelaje en la enseñanza de la Química, y en general de las ciencias. Este trabajo nos hizo reflexionar, explorar nuestras posibilidades, reconocer nuestras limitaciones y explotar al máximo nuestras capacidades ya que es nuestro deber y responsabilidad, como profesoras de adolescentes, continuar en la búsqueda de nuevas formas de enseñar que favorezcan el aprendizaje de nuestros alumnos, en nuestras aulas".

Bibliografía

Bordieu, P., y Passeron, J. C. (1979). La reproducción. Elementos para una teoría del sistema de enseñanza, Barcelona: Editorial Laia.

Borko, H., y Putnam, R. T. (1996). Learning to Teach. In: D. C. Berliner, and R. C. Calfee, Handbook of Educational Psychology (p. 673-708). New York: MacMillan.

Burbank, M. D., y Kauchak, D. (2003). An alternative model for professional development: Investigations into effective collaboration. Teaching and Teacher Education, 19, 499-514.

Chamizo, J. A. (2004). La formación de profesores en México. Recuento de una utopía, Educación Química, 15, 32-39.

Chamizo, J. A., y Izquierdo, M. (2007). Evaluación de las competencias de pensamiento científico. Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales, 51, 9-19.

Chamizo, J. A. (2009). Filosofía de la química: I. Sobre el método y los modelos Educación Química, 20, 6-11.

Chamizo, J.A. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias, Eureka, Revista de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 7, 26-41.

Chamizo, J. A., y García Franco, A. (2010). Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias naturales. Ciudad del México: Facultad de Química-UNAM. En línea en <http::://www.modelosymodelajecientífico.com>.

Duit, R., y Glynn, S. (1996). Mental modelling. En G. Welford, J. Osborne and P. Scott (eds.). Research in Science Education in Europe: Current Issues and Themes (pp. 166-176). London: Falmer.

Feldman, A. (1996). Enhancing the practice of physics teachers: Mechanisms for the generation and sharing of knowledge and understanding in collaborative action research. Journal of Research in Science Teaching, 33, 513-540.

Figueirêdo, K. L. (2008). Formação Continuada de Professores de Química Buscando Inovação, Autonomia e Colaboração. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: FaE UFMG.

García Franco, A., Reyes–Cárdenas, F., Flores, F., y Gallegos, L. (2006). Conocimientos básicos de profesores mexicanos de química de secundaria. Educación Química, 17, 114-122.

Gess-Newsome, J. (2003). Implications of the Definitions of Knowledge and Beliefs on Research and

Practice in Science Teacher Education. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, March 23-26, (p. 1-12). Philadelphia, PA.

Gilbert, J., y Boulter, C. (1998). Learning science through models and modelling. En B. Fraser and K. Tobin (eds), International Handbook of Science Education (pp. 52-66). Dordrecht: Kluwer.

Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., y Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school teachers and experts. Journal of Research in Science Teaching, 28, 799-822.

Henze, I., Van Driel, J., y Verloop, N. (2007). The change of science teachers' personal knowledge about teaching models and modelling in the context of science education reform, International Journal of Science Education, 29, 1819-1846.

Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: An exploration of some issues relating to integration in science and science education. International Journal of Science Education, 14, 541-562.

Justi, R., y Gilbert, J. K. (2002a). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers, International Journal of Science Education, 24, 369-387.

Justi, R., y Gilbert, J. K. (2002b). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. International Journal of Science Education, 24, 1273-1292.

Justi, R., y Van Driel, J. H. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing, and understanding the process. International Journal of Science Education, 27, 549-573.

Latorre, A. (2004). La investigación-acción: Conocer y Cambiar la Práctica Educativa (2 ed.). Barcelona: Graó.

Magnusson, S., Krajcik, L., y Borko, H. (1999). Nature, Source and Development of Pedagogical Content Knowledge. In: J. Gess-Newsome, and N. G. Lederman, Examining Pedagogical Content Knowledge: The construct and its implications for Science Education (p. 95-132). Dordrecht: Kluwer.

Secretaría de Educación Pública (SEP) (2006). Educación Básica. Secundaria. Ciencias. Programas de Estudio 2006. México, D.F.: SEP.

Silva, E. M. A., e Araújo, C. M. (2005). Reflexão em Paulo Freire: Uma contribuição para formação continuada de professores. V Colóquio Internacional Paulo Freire. Recife, 19 <www.paulofreire.org.br/pdf/comunicacoes_orais/REFLEXÃO EM PAULO FREIRE-UMA CONTRIBUIÇÃO PARA FORMAÇÃO CONTINUADA DE PROFESSORES.pdf> Acesso em: 12/07/2007.

Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. Educational Researcher, 15, 4-14.

Shulman, L. S. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. Harvard Educational Review, 57, 1-22.

Suckling C. J., Suckling K. E., y Suckling C. W. (1978). Chemistry through models, Cambridge: Cambridge University Press.

Supovitz, J. A., y Turner, H. M. (2000). The Effects of Professional Development on Science Teaching Practices and Classroom Culture. Journal of Research in Science Teaching, 37, 63-980.

Van Driel, J. H., y Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. International Journal of Science Education, 21, 1141-1153.

Vosniadou, S. (2002). Mental Models in Conceptual Development. In L. Magnani and N. J. Nersessian (Eds.), Model-based Reasoning: Science, Technology, Values (pp. 353-368). New York: Kluwer and Plenum Publishers.

Capítulo 6

EL ROL DE LAS SUPOSICIONES IMPLÍCITAS Y ESTRATEGIAS HEURÍSTICAS EN EL RAZONAMIENTO DE LOS ESTUDIANTES DE QUÍMICA

Vicente Talanquer
Universidad de Arizona. Departmento de Química y Bioquímica,
Estados Unidos, vicente@email.arizona.edu

El interés por estudiar cómo se desarrollan o evolucionan las ideas de los estudiantes acerca de conceptos científicos importantes se ha incrementado considerablemente en los últimos años. El trabajo de investigación educativa asociado ha recibido distintos nombres, tales como "progresiones de aprendizaje" y "trayectorias de aprendizaje" en los Estados Unidos, y "secuencias didácticas" y "experimentos de enseñanza" en el continente europeo (Duschl, Maeng y Sezel, 2011). Los investigadores que trabajan en el campo de progresiones de aprendizaje tienden a definirlas como modelos curriculares que describen secuencias posibles y deseables en la forma de pensar de los estudiantes sobre un concepto o idea a medida que avanzan en sus estudios (Corcoran, Mosher y Rogat, 2009; NRC, 2007). Tales progresiones de aprendizaje se proponen tomando en cuenta los resultados de la investigación educativa sobre cómo aprenden los estudiantes y cuáles son las dificultades de aprendizaje que enfrentan, así como los resultados del análisis de la estructura del conocimiento disciplinario que se desea enseñar. A la fecha se han publicado trabajos que describen progresiones de aprendizaje en varias áreas, tales como estructura atómica y molecular (Smith, Wiser, Anderson y Krajcik, 2006), propiedades de la materia (Smith, Carey y Wiser, 1985), fuerza y movimiento (Alonzo y Steedle, 2009), ciclo del carbono (Mohan, Chen y Anderson, 2009) y argumentación científica (Berland y McNeill, 2010). Sin embargo, todavía hay considerable discusión sobre cómo se define "progreso" en el aprendizaje de un concepto o idea determinada (Foster y Wiser, 2012), cómo se caracterizan formas más avanzadas de pensar en una cierta área (Mohan y Plummer, 2012), y sobre si es posible describir el aprendizaje como una sucesión lineal de niveles de comprensión cada vez más avanzados (Sikorsky y Hammer, 2010). También hay discusiones sobre cómo utilizar los resultados de la investigación educativa sobre progresiones de aprendizaje en el desarrollo de competencias y estándares educativos (Foster y Wiser, 2012), materiales curriculares (Wiser, Smith y Doubler, 2012) y evaluaciones del aprendizaje (Alonzo y Gotwals, 2012).

En principio, el desarrollo de progresiones de aprendizaje puede servir para elaborar e implementar materiales educativos, evaluaciones de aprendizaje y secuencias de enseñanza que respondan de mejor manera, y tomen ventaja de los recursos cognitivos, metacognitivos y socioculturales de los estudiantes. Sin embargo, esto requiere que tales progresiones se basen en información confiable y detallada sobre cómo evolucionan las maneras de pensar de los estudiantes acerca de conceptos e

Merino, C., Arellano, M., Adúriz-Bravo, A (Eds.) *Avances en didáctica de la química: modelos y lenguaje.*
© 2014. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Impreso en Valparaíso, Chile.

ideas centrales en una disciplina. En este sentido, nuestras investigaciones en años recientes se han enfocado al estudio del razonamiento de los estudiantes sobre las propiedades y comportamiento de entidades y procesos químicos, y de los cambios que estas formas de pensar sufren a medida que los estudiantes avanzan en sus estudios (Talanquer, 2006, 2008, 2009, 2010; Maeyer y Talanquer, 2010; McClary y Talanquer, 2011). Esta información es fundamental para el desarrollo de progresiones de aprendizaje en química. El objetivo de este escrito es el de presentar una panorámica general de las ideas que han guiado nuestro trabajo e ilustrar el tipo de resultados que hemos obtenido.

MARCO DE REFERENCIA

La investigación educativa sobre razonamiento de los estudiantes de ciencias se encuentra íntimamente relacionada con trabajos sobre cambio conceptual. Las investigaciones en esta área comúnmente se enmarcan usando alguna de las siguientes tres perspectivas: a) Teorías implícitas (Vosniadou, Vamvakoussi y Skopeliti, 2008); b) Conocimiento en fragmentos (diSessa, 1993); y c) Categorías ontológicas (Chi, 2008). Dentro de la postura de las "teorías implícitas" se asume que el razonamiento de los estudiantes está guiado por un conjunto de creencias y conocimientos interrelacionados que constriñen el tipo de modelos mentales que un individuo puede generar. Los recursos cognitivos que guían el pensamiento del alumno se describen como un conjunto coherente de creencias y conocimientos organizados en teorías implícitas que sirven de marco de referencia en la construcción de explicaciones. En contraste, dentro de la postura del "conocimiento en fragmentos" el razonamiento intuitivo se considera sostenido por un conjunto vasto, diverso y fragmentado de ideas fenomenológicas sobre el comportamiento del mundo, comúnmente llamadas p-prims. Estos elementos cognitivos se activan de manera selectiva cuando los alumnos enfrentan problemas específicos en circunstancias determinadas, lo que permite explicar la alta contextualidad de las ideas expresadas por los estudiantes (diSessa y Sherin, 1998). Finalmente, dentro la perspectiva de las "categorías ontológicas" se considera que el razonamiento humano está fuertemente influenciado por las categorías explícitas o implícitas a las que se asignan los objetos y procesos que forman parte del sistema de interés (Chi, 2008). En esta visión, las categorías a las que una persona asigna las entidades y fenómenos que la rodean determinan cómo piensa sobre ellos.

Aunque la literatura sobre cambio conceptual frecuentemente presenta los tres marcos teóricos antes descritos como paradigmas en conflicto, el análisis de trabajos recientes dentro de cada una de estas perspectivas revela importantes puntos en común. En particular, una gran variedad de investigadores en ciencias cognitivas, psicología del desarrollo y educación en ciencias reconoce la existencia de elementos cognitivos que parecen apoyar, pero también constreñir el razonamiento de los estudiantes en diferentes dominios del conocimiento. Estos elementos cognitivos han recibido una gran variedad de nombres, tales como conocimiento central (Spelke y Kinzler, 2007), presuposiciones implícitas (Vosniadou, 1994), creencias ontológicas (Chi, 2008), fenomenológicos primitivos (diSessa, 1993), reglas intuitivas (Stavy y Tirosh, 2000), heurísticos rápidos y frugales (Todd y Gigerenzer, 2000) y recursos cognitivos (Redish, 2004). La existencia de restricciones cognitivas que guían el razonamiento humano parece no estar en discusión. Sin embargo, hay considerable debate sobre el grado con el que estos elementos cognitivos forman un sistema coherente e integrado de conoci-

miento (Vosniadou et al., 2008) versus un conjunto fragmentado de piezas de razonamiento (Brown y Hammer, 2008). Las investigaciones existentes sugieren que el nivel de integración probablemente dependa del dominio de conocimiento investigado y de los conocimientos previos y experiencias de cada individuo.

Los resultados de investigaciones en psicología cognitiva y del desarrollo sugieren que cuando las personas interaccionan con un objeto o evento, la información percibida, las claves de lenguaje recibidas, su conocimiento previo, así como restricciones cognitivas implícitas dan lugar a una representación mental dinámica que facilita el reconocimiento y la categorización de la entidad de interés (Baillargeon et al., 2009; Gelman, 2009). Una vez que la representación mental es construida, el pensamiento asociativo, así como el razonamiento analógico y metafórico nos ayudan a categorizar al objeto o evento y a inferir propiedades y comportamientos (Bowdle y Gentner, 2005; Vosniadou y Ortony, 1989). Por ejemplo, al tocar una roca seguramente la clasificaremos como un objeto sólido porque se siente rígida y pesada. Esta categorización nos permite inferir el comportamiento de la roca si la dejamos caer o la arrojamos contra otro objeto. Las categorizaciones que realizamos tienen repercusiones cruciales sobre cómo razonamos sobre las cosas (Chi, 2008). Esto es debido a que implícitamente asumimos que las propiedades de objetos y eventos están determinadas por las características subyacentes que definen la categoría a la que pertenecen. Tales categorías capturan patrones causales y guían nuestro razonamiento sobre lo que es posible o no.

Las suposiciones que la gente hace sobre las propiedades y el comportamiento de los miembros de una categoría actúan como restricciones cognitivas que guían y dan soporte, pero también constriñen el razonamiento. Estas restricciones cognitivas nos ayudan a tomar decisiones acerca de qué comportamientos son posibles y acerca de qué variables son relevantes. También apoyan el desarrollo y aplicación de estrategias heurísticas para tomar decisiones y hacer predicciones acerca de cómo se comportará un objeto cuando participe en diferentes procesos o eventos. Estos elementos cognitivos dan lugar a un sistema de conocimiento dinámico cuyo objetivo no es necesariamente alcanzar coherencia conceptual global, sino coherencia explicativa local y capacidad de decisión eficiente en la solución de problemas específicos en un contexto determinado (Brown y Hammer, 2008; Sloman, 1996). Las restricciones cognitivas no necesariamente nos ayudan a generar modelos mecanísticos completos de las entidades y fenómenos con las que nos enfrentamos, pero nos permiten reconocer propiedades importantes y a inferir patrones de comportamiento relevantes. Estos elementos cognitivos nos ayudan a realizar inferencias razonables acerca de las propiedades y comportamiento de los objetos que nos rodean en condiciones de tiempo y conocimiento limitado. Frecuentemente nos guían en la generación de soluciones aceptables sin tener que invertir gran esfuerzo cognitivo, pero a veces son responsables de errores severos y sistemáticos en el razonamiento humano.

Con base en estas ideas, así como en el análisis cuidadoso de las investigaciones educativas sobre concepciones alternativas de los estudiantes de química (Duit, 2007; Kind, 2004), en años recientes hemos propuesto que muchos de los problemas de razonamiento detectados por docentes e investigadores educativos en el área de la química pueden explicarse si asumimos que el pensamiento espontáneo de los alumnos está constreñido por dos grandes tipos de restricciones cognitivas (Talanquer 2006):

- **Suposiciones implícitas** acerca de las propiedades y comportamiento de entidades y fenómenos químicos;
- **Estrategias heurísticas** de razonamiento que facilitan la realización de juicios y la toma decisiones bajo condiciones inciertas (tiempo y conocimiento limitados).

El grado con el que estos elementos cognitivos forman un sistema integrado y coherente de conocimiento es de esperar que varíe de un estudiante a otro. Sin embargo, nuestra aserción central es que decisiones tácitas sobre la naturaleza de los objetos y fenómenos químicos involucrados en un problema dado activan suposiciones implícitas y estrategias heurísticas de razonamiento que apoyan pero también constriñen el razonamiento de los alumnos. Es por ello que uno de los objetivos centrales de nuestro trabajo de investigación educativa ha sido el de estudiar la naturaleza y evolución de las restricciones cognitivas que comúnmente guían el pensamiento de los estudiantes de química. En las siguientes secciones presentamos resultados que ilustran de manera concreta las ideas aquí presentadas.

Suposiciones Implícitas

Es de esperar que la naturaleza de las suposiciones implícitas que constriñen el razonamiento de los estudiantes cambie con el tiempo, a medida que los estudiantes se desarrollan cognitivamente y adquieren más conocimientos. Algunas de estas restricciones cognitivas se volverán más o menos importantes en el razonamiento de los alumnos dependiendo de su conocimiento previo sobre un tema, la naturaleza de la pregunta o problema que se les presente, y sus motivaciones personales al enfrentarse con una tarea. Esto sugiere que la construcción de progresiones de aprendizaje que describan de manera adecuada la secuencia de cambios posibles y deseables en la forma de pensar de los estudiantes se puede facilitar si identificamos las restricciones cognitivas que comúnmente guían el razonamiento de los alumnos cuando aprenden un cierto tema. Como ejemplo, consideremos el caso del aprendizaje del modelo corpuscular de la materia.

Nuestro análisis de los resultados de la investigación educativa sobre concepciones alternativas de los estudiantes sobre estructura de la materia sugiere cambios en las suposiciones implícitas de los estudiantes a lo largo de varias dimensiones (Talanquer, 2009). Como se muestra en la Figura 1, estas dimensiones incluyen conceptualizaciones sobre la *Estructura* submicroscópica de las sustancias, origen de sus *Propiedades* físicas y químicas, así como naturaleza *Dinámica* de la materia y de las *Interacciones* entre componentes submicroscópicos.

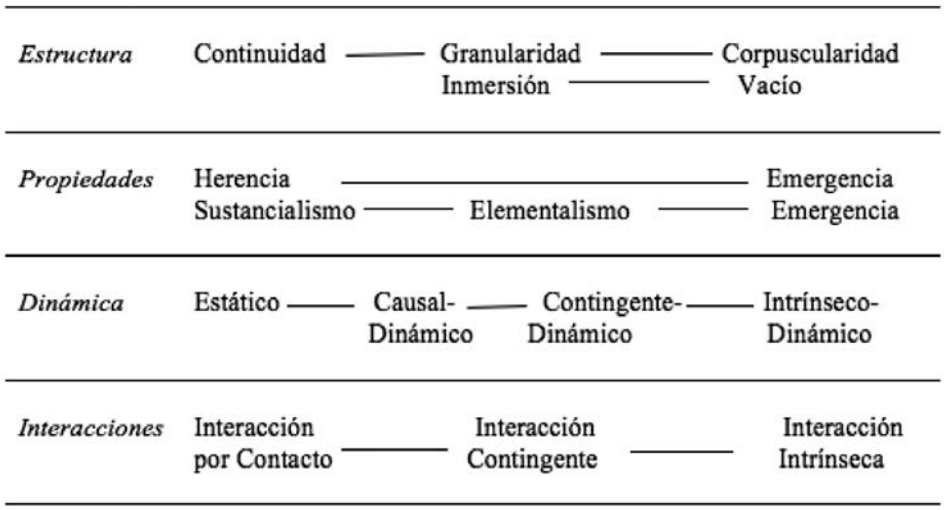


Figura 1. Suposiciones implícitas que frecuentemente constriñen el razonamiento de los estudiantes sobre estructura de la materia a lo largo de distintas dimensiones y en diferentes etapas del aprendizaje (Talanquer, 2009).

La división de suposiciones implícitas a lo largo de diferentes dimensiones sugiere que las ideas de los estudiantes a lo largo de cada dimensión pueden evolucionar de manera semi-independiente. Por ejemplo, un estudiante puede asumir que los componentes submicroscópicos de las sustancias no están en movimiento (suposición Estática) pero evolucionar en su conceptualización de la naturaleza y estructura de estos componentes. Esto es, pasar de asumir que los átomos y moléculas son pequeños gránulos de la sustancia (Granularidad) a asumir que tienen una composición y estructura propia (Corpuscularidad). Es importante señalar que aunque la secuencia de suposiciones implícitas presentada en la Figura 1 es lineal, esto no implica que nuestro modelo sugiere que las formas de razonar de los estudiantes siguen una trayectoria lineal, que cada alumno se mueve de manera secuencial de una suposición a otra, o que una vez que se adopta una suposición esta reemplaza a otras dentro de una dimensión dada. La representación en la Tabla 1 busca identificar a las suposiciones implícitas que más comúnmente guían el razonamiento de los estudiantes cuando se enfrentan a preguntas y problemas que demandan hacer predicciones o generar explicaciones haciendo uso del modelo corpuscular de la materia. Cada una de estas suposiciones representa un "atractor" potencial en la dinámica cognitiva de los estudiantes (Brown and Hammer, 2008), el cual puede adquirir un rol central en el razonamiento del alumno dependiendo de factores tales como la naturaleza del problema con el que se enfrenta y sus conocimientos previos sobre el sistema bajo estudio.

En general, nuestro análisis sugiere que las suposiciones implícitas representadas hacia la izquierda de la Figura 1 serán más atractivas para los estudiantes de química novatos. Así, se espera que muchos de ellos piensen que un pedazo de materia es un medio "continuo" que puede ser dividido en trozos infinitesimales que mantienen las mismas propiedades físicas y químicas que el trozo original

(suposición implícita de Herencia). A medida que los estudiantes adquieren más conocimientos, más alumnos empezarán a asumir que las sustancias están constituidas por un conjunto de partículas con estructura y composición propia (suposición implícita de Corpuscularidad), las cuales están embebidas en algún tipo de medio material, como agua o aire (suposición implícita de Inmersión). Sin embargo, es probable que muchos de ellos consideren que las partículas de la materia tienen las mismas propiedades físicas y químicas que la sustancia misma (Herencia) o que las propiedades observadas resultan del promedio ponderado de las propiedades de los elementos que la componen (suposición implícita de Elementalismo). Estas maneras de pensar no parecen desaparecer fácilmente del razonamiento de los estudiantes, incluso de aquellos que alcanzan niveles de preparación avanzados en química. Como ejemplo, la Figura 2 presenta las predicciones de estudiantes de licenciatura y posgrado en los Estados Unidos sobre el color del producto que resulta de la reacción química entre una sustancia de color azul y otra de color amarillo. En este caso, es de esperar que aquellos alumnos que consideran que las propiedades de los átomos y moléculas son las mismas que las de la sustancia misma, y que las propiedades observadas resultan de la mezcla aditiva de las propiedades de los componentes individuales, predigan que el producto tendrá color verde. Nuestros resultados indican que más del 60% de los estudiantes que completan un curso introductorio de química a nivel universitario asumen este tipo de comportamiento y que esta forma de pensar se vuelve menos prevalente a medida que los estudiantes completan más estudios en la disciplina.

Nuestros resultados sugieren que las ideas de los estudiantes sobre entidades y procesos químicos están constreñidas por suposiciones implícitas que evolucionan a través de diversos mecanismos: adición, modificación, coalescencia, diferenciación y reorganización. Aunque muchas de estas suposiciones parecen estar interrelacionadas, algunas de ellas ganan o pierden fuerza o prevalencia en el razonamiento de los alumnos de manera independiente. A medida que los estudiantes aprenden más sobre un tema o avanzan en su desarrollo cognitivo algunas suposiciones son activadas con más o menos frecuencia. Es posible que suposiciones que puedan parecer incoherentes desde la perspectiva de un experto coexistan en la mente de los estudiantes, particularmente de aquellos alumnos que se encuentran en etapas intermedias de aprendizaje. La activación de suposiciones implícitas determinadas parece depender de varios factores, tales como juicios sobre la similitud del sistema o problema bajo análisis con otros casos conocidos, disponibilidad de tales elementos cognitivos dada su frecuencia de activación, reconocimiento de casos conocidos, y encuadramiento personal de la tarea con base en rasgos sobresalientes, contexto en el que se trabaja, o percepción de las metas de la tarea.

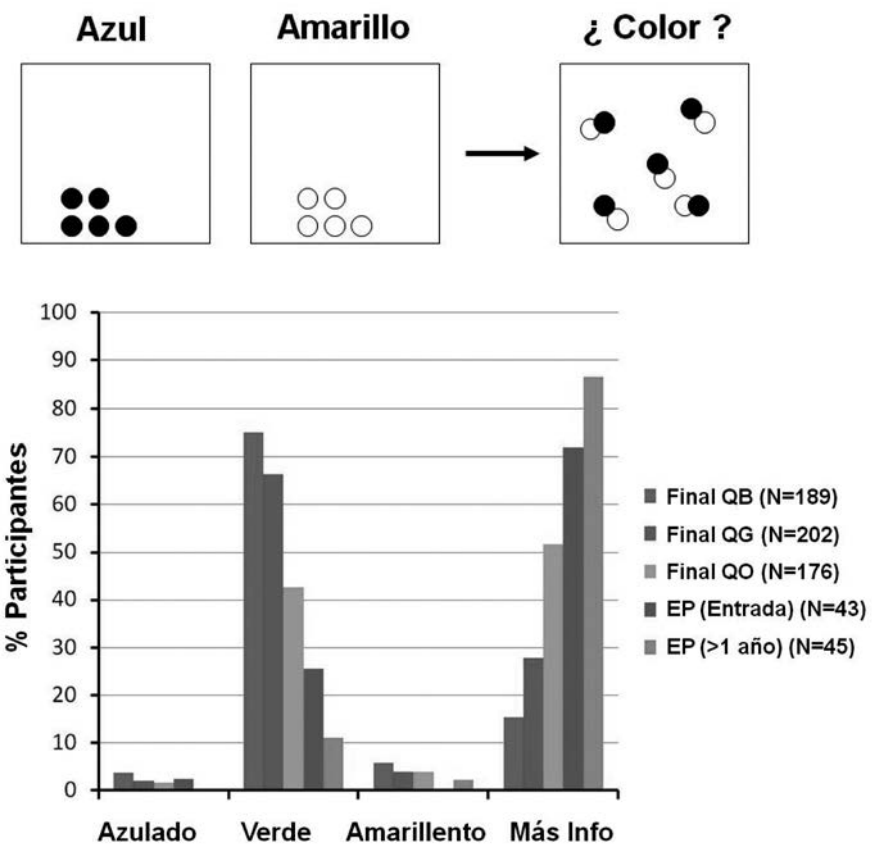


Figura 2. Distribución de predicciones del color del producto de la reacción química entre una sustancia de color azul y otra de color amarillo hechas por estudiantes de licenciatura y posgrado en química. La muestra incluye estudiantes al finalizar un curso introductorio de química para estudiantes de enfermería (Final QB), al finalizar un año de química general (Final QG), al finalizar un año de química orgánica (Final QO), al entrar al posgrado en química (EP, entrada), y con más de un año de estudios de posgrado (EP, >1 año).

Estrategias Heurísticas

Las suposiciones implícitas acerca de la naturaleza de entidades y procesos químicos resultan útiles para los estudiantes porque facilitan la generación de predicciones y explicaciones sobre sus propiedades. Estas suposiciones ayudan a identificar las variables que pueden ser relevantes al enfrentarse con una pregunta o problema determinado. Sin embargo, las sustancias y los procesos químicos tienden a ser sistemas complejos con múltiples variables, lo que dificulta la discriminación de aquellos factores que determinan su comportamiento y propiedades. Por ejemplo, si quisiéramos predecir las temperaturas de fusión relativas de dos compuestos como el cloruro de sodio, NaCl(s), y el bromuro

de sodio, NaBr(s), lo primero que necesitamos reconocer es que estas sustancias se pueden modelar como sistemas iónicos. Esto nos sugiere que sus propiedades físicas estarán influenciadas por la carga y el tamaño de los iones presentes en cada uno de ellos. A continuación debemos recordar la carga de tales cationes y aniones, así como su tamaño relativo. Con base en esta información, y aplicando la ley de Coulomb, podemos inferir que las fuerzas de atracción entre iones deben ser mayores en NaCl que en NaBr, y concluir que el primer compuesto tendrá el punto de fusión más elevado. Las investigaciones sobre las estrategias utilizadas por los estudiantes de química para resolver problemas como el descrito indican que muchos de ellos no aplican este tipo de razonamiento analítico. En su lugar utilizan estrategias heurísticas que les facilitan la toma de decisiones, pero muchas veces los llevan a generar respuestas equivocadas (Maeyer y Talanquer, 2010; McClary y Talanquer, 2011).

El uso de estrategias heurísticas de razonamiento ha sido analizado desde varias perspectivas (Sloman, 1996; Todd y Gigerenzer, 2000; Evans, 2006, 2008; Stavy y Tirosh, 2000). A pesar de las diferencias en conceptualización, los marcos teóricos existentes resaltan la capacidad de la mente humana para tomar decisiones con muy poco tiempo e información, haciendo uso de mecanismos de razonamiento implícitos y pre-conscientes. Este tipo de estrategias de razonamiento se han caracterizado como rápidas y frugales porque demandan poco tiempo e información para tomar una decisión. Se dice que se trata de estrategias ecológicamente racionales porque se adaptan a la estructura del problema en el que se utilizan (Todd y Gigerenzer, 2000). El razonamiento heurístico tiende a dominar sobre el razonamiento analítico cuando las personas tienen pocos conocimientos, capacidad cognitiva, o motivación para resolver una pregunta o problema. Aunque las estrategias heurísticas de razonamiento usualmente dan lugar a respuestas satisfactorias, no siempre generan la respuesta correcta y parecen ser responsable de sesgos y serios errores sistemáticos en el razonamiento humano.

La mayor parte de las investigaciones sobre razonamiento heurístico se han realizado en contextos no académicos. Sin embargo, hay evidencia clara de que este tipo de forma de pensar es aplicado por los estudiantes en clases de ciencias y matemáticas (Stavy y Tirosh, 2000; Leron y Hazzan, 2006). En el caso particular de química, la aplicación de razonamiento heurístico ha sido reportada por varios autores. Por ejemplo, Taber y Bricheno (2009) han descrito las reglas heurísticas empleadas por estudiantes de la escuela secundaria cuando completan ecuaciones químicas. Nuestras propias investigaciones han revelado el uso prevalente de este tipo de razonamiento por estudiantes de química del nivel licenciatura cuando se les pide que comparen la composición y estructura de diversas sustancias químicas y las ordenen en términos de los valores relativos de diversas propiedades físicas y químicas (Maeyer y Talanquer, 2010; McClary y Talanquer, 2011). En los siguientes párrafos resumimos los resultados más importantes obtenidos a través de este tipo de estudios.

Nuestro trabajo se basa en el análisis de las respuestas generadas por estudiante de química general y química orgánica a nivel licenciatura a problemas en los que se les solicita que ordenen conjuntos de tres o cuatro sustancias con base en el valor relativo de diversas propiedades físicas (p.e., temperaturas de ebullición fusión) y químicas (p.e., acidez, basicidad). Los datos corresponden a respuestas dadas a preguntas abiertas y entrevistas individuales. Los resultados obtenidos sugieren que una alta proporción de estudiantes de química a nivel licenciatura hace uso de estrategias heurísticas, en

lugar del razonamiento analítico basado en la aplicación de modelos atómico-moleculares sobre estructura de la materia, para tomar decisiones sobre el ordenamiento de sustancias. El uso de razonamiento heurístico les permite reducir el costo cognitivo de las tareas presentadas, ya sea mediante la reducción del número de variables que toman en cuenta para resolver el problema, la simplificación de los efectos de distintos factores, o el reconocimiento de casos conocidos. Desgraciadamente, estas formas de razonar frecuentemente los conducen por caminos equivocados o poco productivos.

Entre las estrategias heurísticas de razonamiento más comúnmente utilizadas por los participantes en nuestros estudios cabe citar las siguientes:

- *Toma de decisiones con base en una variable única*: Esta estrategia se basa en la búsqueda de una característica única que permita diferenciar una sustancia de otra, y realizar una selección entre varias opciones (Todd y Gigerenzer, 2000). En general, la decisión consiste en seleccionar la opción que tenga el mayor valor en la propiedad diferenciante seleccionada. Muchos estudiantes utilizan una regla del tipo "Más A implica más B" al tomar su decisión (Stavy y Tirosh, 2000). Por ejemplo, al decidir qué compuesto entre MgO y BaO tiene un punto de fusión más elevado, un estudiante puede reconocer que el átomo de bario es más pesado que el átomo de magnesio y decidir que "más pesado implica punto de fusión más alto." La selección de la propiedad diferenciante relevante frecuentemente es guiada por suposiciones implícitas acerca de los factores que determinan la propiedad que se evalúa.

- *Reconocimiento*: Al usar esta estrategia, el estudiante selecciona una substancia o proceso como la más o menos representativa de cierto comportamiento simplemente porque los reconoce y recuerda que tienen la propiedad que se evalúa. Por ejemplo, en la serie de compuestos NaCl, NaBr, y NaI, muchos estudiantes seleccionan al cloruro de sodio como la sustancia más soluble en agua simplemente porque la reconocen como sustancia soluble prototípica. Igualmente, muchos alumnos de química tienden a escoger HCl como el ácido más fuerte entre otras sustancias ácidas como HBr y HI, simplemente porque recuerdan la acción del ácido clorhídrico en su trabajo de laboratorio.

- *Representatividad*: La decisión se toma asumiendo similitudes en las propiedades y comportamiento de objetos con apariencias parecidas (Gilovich, Griffin y Kahneman, 2002). Por ejemplo, al tomar decisiones acerca de la acidez relativa de varias sustancias los estudiantes utilizan la presencia de ciertos grupos funcionales, como el grupo carboxilo –COOH o el grupo hidroxilo –OH, para decidir si las sustancias son ácidos fuertes o bases fuertes, respectivamente.

Dado que el tipo de estrategia heurística de razonamiento que las personas utilizan depende del tipo de problema con que se enfrentan, es de esperar que los estudiantes utilicen distintas estrategias dependiendo del contenido específico de cada problema. Por ejemplo, en nuestros estudios sobre ordenamiento de sustancias encontramos que el uso de la estrategia de *Reconocimiento* era más frecuente en problemas que incluían compuestos de uso común en la vida diaria o en el laboratorio. Por otro lado, problemas en los que la composición química era la diferencia más sobresaliente entre una sustancia y otra frecuentemente fueron resueltos a través de la búsqueda de una sola propiedad atómica diferenciadora (tamaño o peso atómico, electronegatividad). Aunque este tipo de

estrategias ciertamente pueden generar la respuesta correcta, nuestros resultados indican que los estudiantes de química tienen serias dificultades para seleccionar las variables que son relevantes y tienden a generalizar patrones de comportamiento más allá de su intervalo de aplicación.

Comparación de las estrategias de razonamiento utilizadas por estudiantes de química general y estudiantes más avanzados de química orgánica sugiere que ambos aplican estrategia heurísticas en la resolución de gran número de problemas. La mayor diferencia se encuentra en el tipo de factores que cada grupo de estudiantes utiliza con más frecuencia para tomar sus decisiones. En general, los estudiantes novatos tienden a prestar más atención a diferencias aparentes en la composición y estructura de las sustancias (variables explícitas), mientras que los estudiantes más avanzados prestan atención tanto a factores explícitos (por ejemplo, tipo de átomos presentes o número de enlaces) como implícitos (por ejemplo, electronegatividad o polaridad) (McClary y Talanquer, 2011). En cierta medida, los estudiantes más avanzados pueden ser menos eficientes en su aplicación de estrategias heurísticas que los estudiantes novatos pues tienden a poseer una base de conocimiento más amplia, lo que muchas veces los hace considerar un mayor número de variables entre las que no pueden fácilmente discriminar.

CONCLUSIONES

Durante años, gran parte del trabajo de investigación educativa en el área de la química se ha enfocado a identificar y describir las concepciones alternativas de los estudiantes acerca de gran variedad de temas (Duit, 2007; Kind, 2004). Los resultados de este tipo de investigaciones nos han hecho conscientes de las múltiples dificultades de aprendizaje con las que se enfrentan la mayoría de los estudiantes en nuestros salones de clase. Sin embargo, el largo catálogo de concepciones alternativas de alguna manera oscurece y dificulta la identificación de patrones de razonamiento más generales que puedan ser responsables de las ideas específicas expresadas por los alumnos. La identificación y caracterización de dichos patrones de razonamiento, así como el estudio de cómo evolucionan a medida que los estudiantes adquieren más conocimientos y se desarrollan cognitivamente, es de central importancia si queremos construir una base sólida y coherente de información sobre la cual desarrollar progresiones de aprendizaje sobre conceptos e ideas fundamentales en química.

Las ideas y resultados presentados en esta contribución sugieren que analizar las ideas expresadas por los estudiantes de química buscando caracterizar a las restricciones cognitivas que más frecuentemente constriñen tales ideas facilita la identificación de patrones de razonamiento más generales. La caracterización del conjunto de suposiciones implícitas y las estrategias heurísticas que frecuentemente subyacen en las formas de razonar de estudiantes con diferentes niveles de avance en sus estudios facilita el diseño de intervenciones didácticas enfocadas a atacar la raíz del problema, y no sólo sus múltiples manifestaciones específicas en contextos particulares. La identificación de tales patrones de razonamiento también facilita el diseño de evaluaciones del aprendizaje que vayan más allá de verificar si los estudiantes reconocen las explicaciones científicas esperadas, sin que ello implique que sus suposiciones sobre las propiedades y comportamiento de la materia y sus estrategias de razonamiento hayan sufrido cambios sustanciales.

Bibliografía

Alonzo, A, & Steedle, J. T. (2009). Developing and Assessing a Force and Motion Learning Progression. *Science Education*, 93(3), 389–421.

Baillargeon, R., Li, J., Ng, W., & Yuan, S. (2009). An account of infants' physical reasoning. In A. Woodward & A. Needham (Eds.), *Learning and the infant mind* (pp. 66-116). New York: Oxford University Press.

Berland L. K., & McNeill, K. L. (2010). A learning progression for scientific argumentation: understanding student work and designing supportive instructional contexts. *Science Education*, 94, 765–793.

Bowdle, B., & Gentner, D. (2005). The career of metaphor. *Psychological Review*, 112(1), 193-216.

Brown, D. E., & Hammer, D. (2008). Conceptual change in physics. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 127-154). New York: Routledge.

Chi, M. T. H. (2008). Three kinds of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and ontological shift. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 61-82). New York: Routledge.

Corcoran T., Mosher, F. A., & Rogat, A. (2009). Learning progressions in science: An evidence-based approach to reform. *Consortium for Policy Research in Education* Report #RR-63. Philadelphia, PA.

diSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10, 165–255.

diSessa, A. A., & Sherin, B. L. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, 20(10), 1155-1191.

Duit, R. (2007). *Bibliography STCSE: Students' and teachers' conceptions and science education.* Leibniz Institute for Science Education: Kiel, Germany: IPN. Available at www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/.

Duschl, R., Maeng, S., & Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: A review and analysis. *Studies in Science Education*, 47(2), 123-182.

Evans, J. S. B. T. (2006). The heuristic-analytic theory of reasoning: Extension and evaluation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(3), 378-395.

Evans, J. S. B. T. (2008). Dual-processing accounts of reasoning, judgment, and social cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 255-278.

Foster, J., & Wiser, M. (2012). The potential of learning progression research to inform the design of state science standards. In A. C. Alonzo & A. W. Gotwals (Eds.) *Learning progressions in science: Current challenges and future directions* (pp. 435-459). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.

Gelman, S. A. (2009). Learning from others: Children's construction of concepts. *Annual Review of Psychology*, 60, 115-140.

Gilovich, T., Griffin, D., & Kahneman, D. (Eds.). (2002). *Heuristics and biases: The psychology of intuitive judgment*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Kind, V. (2004). *Beyond appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas* 2 Edn. Royal Society of Chemistry: London.

Leron, U., & Hazzan, O. (2006). The rationality debate: Application of cognitive psychology to mathematics education. *Educational Studies in Mathematics*, 62, 105-126.

Maeyer, J., & Talanquer, V. (2010). The role of intuitive heuristics in students' thinking: Ranking chemical substances. *Science Education*, 94, 963-984.

McClary, L., & Talanquer, V. (2011). *Heuristic* reasoning in chemistry: Making decisions about acid strength. *International Journal of Science Education* (published on-line).

Mohan, L., Chen, J., & Anderson, C. W. (2009). Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 675–698.

Mohan, L., & Plummer, J. (2012). Exploring challenges to defining learning progressions. . In A. C. Alonzo & A. W. Gotwals (Eds.) *Learning progressions in science: Current challenges and future directions* (pp. 139-147). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.

National Research Council (NRC). (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. Washington, D. C.: National Academies Press.

Redish, E. F. (2004). A theoretical framework for physics education research: Modeling student thinking, in E. F. Redish and M. Vicentini (eds.), *Proceedings of the international school of physics, "Enrico Fermi" course CLVI*. Amsterdam: IOS Press.

Sikorski, T. F., & Hammer, D. (2010). A critique of how learning progressions research conceptualizes sophistication and progress. In K. Gomez, L. Lyons, J. Radinsky (Eds.) *Learning in the Disciplines: Proceedings of the 9th International Conference of the Learning Sciences*, Volume 1, (pp. 1032–1039). Chicago IL: International Society of the Learning Sciences:

Sloman, S. A. (1996). The empirical case for two systems of reasoning. *Psychological Bulletin*. 119(1), 3-22.

Smith, C., Carey, S., & Wiser, M. (1985). On differentiation: A case study of the development of size, weight, and density. *Cognition*, 21, 177–237.

Smith, C., Wiser, M., Anderson, C., & Krajcik, J. (2006). Implications of research on children's learning for standards and assessment: A proposed learning progression for matter and atomic-molecular theory. *Measurement*, 14 (1&2), 1–98.

Spelke, E. S. & Kinzler, K. D (2007). Core knowledge. *Developmental Science,* 10, 89-96.

Stavy, R. & Tirosh, D. (2000). *How students (mis-)understand science and mathematics: Intuitive rules.* New York: Teachers College Press.

Taber, K. S., & Bricheno, P. A. (2009). Coordinating procedural and conceptual knowledge to make sense of word equations: Understanding the complexity of a 'simple' completion task at the learner's resolution. *International Journal of Science Education*, 31, 2021-2055.

Taber, K. S., & García Franco, A. (2010). Learning processes in chemistry: Drawing upon cognitive resources to learn about the particulate structure of matter. *Journal of the Learning Sciences*, 19(1), 99-142.

Talanquer, V. (2006). Common sense chemistry: A model for understanding students' alternative conceptions. *Journal of Chemical Education,* 83(5), 811-816.

Talanquer, V. (2008). Students' predictions about the sensory properties of chemical compounds: Additive versus emergent frameworks. *Science Education.* 92(1), 96-114.

Talanquer, V. (2009). On cognitive constraints and learning progressions: The case of structure of matter. *International Journal of Science Education*, 31 (15), 2123-2136.

Talanquer, V, (2010). Exploring dominant types of explanations built by general chemistry students. *International Journal of Science Education*, 32 (18), 2393-2412.

Todd, P. M., & Gigerenzer, G. (2000). Precis of simple heuristics that make us smart. *Behavioral and Brain Sciences*, 23, 727-780.

Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change, *Learning and Instruction,* 4, 45–69.

Vosniadou, S., & Ortony, A. (Eds.), (1989). *Similarity and analogical reasoning.* New York: Cambridge University Press.

Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (2008). The framework theory approach to the problem of conceptual change. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 3-34). New York: Routledge.

Wiser, M., Smith, C. L., & Doubler, S. (2012). Learning progressions as tools for curriculum development: Lessons from the Inquiry Project In A. C. Alonzo & A. W. Gotwals (Eds.) *Learning progressions in science: Current challenges and future directions* (pp. 359-403). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.

Capítulo 7

ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA: LENGUAJES EXPERTOS COMO OBSTÁCULOS DE APRENDIZAJE

Lydia Galagovsky, **Diana Bekerman** y **María Angélica Di Giacomo**
Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias, Argentina,
lyrgala@qo.fcen.uba.ar

Una clase de ciencias es un espacio de comunicación entre el docente, experto en temáticas, y los estudiantes. Una idea fuerte en didáctica de las ciencias naturales está centrada en la problemática de "hablar ciencias" (Lemke, 1997). Hablar ciencias significa comprender las complejas formas en que se presenta el discurso de la Química (Gilbert y Treagust, 2009), entendiendo conceptualmente las relaciones entre fenómenos, materiales, propiedades y procesos, las diversas formas de representarlos, las explicaciones que se sustentan en modelos de funcionamiento a nivel atómico o molecular, y las formas de expresión de dichos modelos, que han sido y deben ser permanentemente consensuadas dentro de la comunidad de expertos químicos.

En investigaciones previas en didáctica de las ciencias naturales se ha encontrado que estas disciplinas científicas utilizan diferentes lenguajes para explicar y describir los fenómenos (Galagovsky y cols., 2003; Galagovsky, 2007, 2008a). Se utiliza lenguaje verbal en explicaciones y textos escritos, lenguaje gráfico en dibujos y esquemas, lenguajes matemáticos en ecuaciones y lenguaje de fórmulas químicas en ecuaciones químicas, etc. Esta multiplicidad simultánea de lenguajes explicativos es también fuente de obstáculos que dificultan la comunicación en el aula, en tanto docentes y estudiantes debemos compartir significados partiendo de grandes diferencias en nuestras respectivas capacidades de "hablar ciencias".

Decir que el discurso científico se expresa mediante lenguajes implica que un sujeto que aprende la disciplina debe llegar a conocer significados, convenciones, normas, acuerdos entre expertos sobre cuáles palabras, signos, códigos, gráficos y/o formatos sintácticos son aceptables, o no, dentro de cada lenguaje, y en qué contexto se aplican.

Un docente de Química es un experto que ha aprehendido el discurso de esta disciplina científica. La Figura 1 muestra las relaciones entre un experto en Química y los niveles de análisis macroscópico y simbólico[1], y el cúmulo de lenguajes involucrados en esta disciplina científica (Galagovsky y cols.,

[1] Si bien es aceptada la idea de que la Química se enseña y se aprende en niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico (Johnstone, 1991, 1993), desde nuestro enfoque se considera que las representaciones del nivel submicroscópico son una forma más de lenguaje gráfico ya que se refieren a la estructura e interaccio-

Merino, C., Arellano, M., Adúriz-Bravo, A (Eds.) *Avances en didáctica de la química: modelos y lenguaje.*
© 2014. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Impreso en Valparaíso, Chile.

2003). En ella se resalta que, por un lado, todo experto ha construido su conocimiento en base a información científica que se expresa en diferentes lenguajes específicos; a través de ellos, los expertos explican simbólicamente las interpretaciones de los fenómenos en estudio. En los lenguajes expertos se utilizan terminología, códigos y formatos sintácticos específicos; sus usos inadecuados son considerados como errores conceptuales.

Por otro lado, la Química utiliza un lenguaje verbal con un vocabulario específico cuyas significaciones resultan difíciles para los estudiantes novatos (por ejemplo, enlaces iónicos, covalentes, metálicos; puentes de hidrógeno, fuerzas de London, orbitales, nubes electrónicas, hibridaciones, resonancia, etc.). Lo mismo ocurre con su lenguaje gráfico: esquemas con partículas, coordenadas de reacción, diagramas de energía, etc., son altamente simbólicos, ya que representan modelos de entidades inobservables (Johnstone, 1991, 1993, 2010; Giúdice y Galagovsky, 2008; Galagovsky y cols., 2008a).

Finalmente, en el discurso científico de la Química también se utiliza lenguaje matemático y de fórmulas químicas que involucran códigos y formatos sintácticos específicos.

Cuando se enseña una asignatura científica se presentan a los estudiantes informaciones explicitadas en toda esta amplia variedad de lenguajes. Cada docente selecciona alguna parte de la información erudita y explica hablando, dibujando, haciendo esquemas, presentando fórmulas, etc. Los docentes pensamos complementaria y simultáneamente en todas esas opciones comunicacionales y sabemos mucho más que lo que expresamos. Cada docente recurre, además, a una vasta variedad de recursos didácticos para sus explicaciones, tales como analogías, aportes desde la historia de las ciencias, experimentación, o situaciones anecdóticas. Esto significa que su intención es enriquecer su discurso con "traducciones entre lenguajes simbólicos" y aportes desde relaciones con otros campos del saber; sin embargo, estas estrategias podrían no ser entendidas correctamente por los estudiantes, como formas complementarias (Justi y Gilbert, 2002) de la información a ser procesada (Galagovsky y cols., 2003; 2009, 2010; Bekerman, 2007).

nes entre partículas o entidades inobservables y, por lo tanto, sin la explicitación de los códigos utilizados no ofrecen una interpretación mental directa: sus elementos son polisémicos y sus referentes simbólicos son bien conocidos sólo por los expertos (Galagovsky y cols 2003).

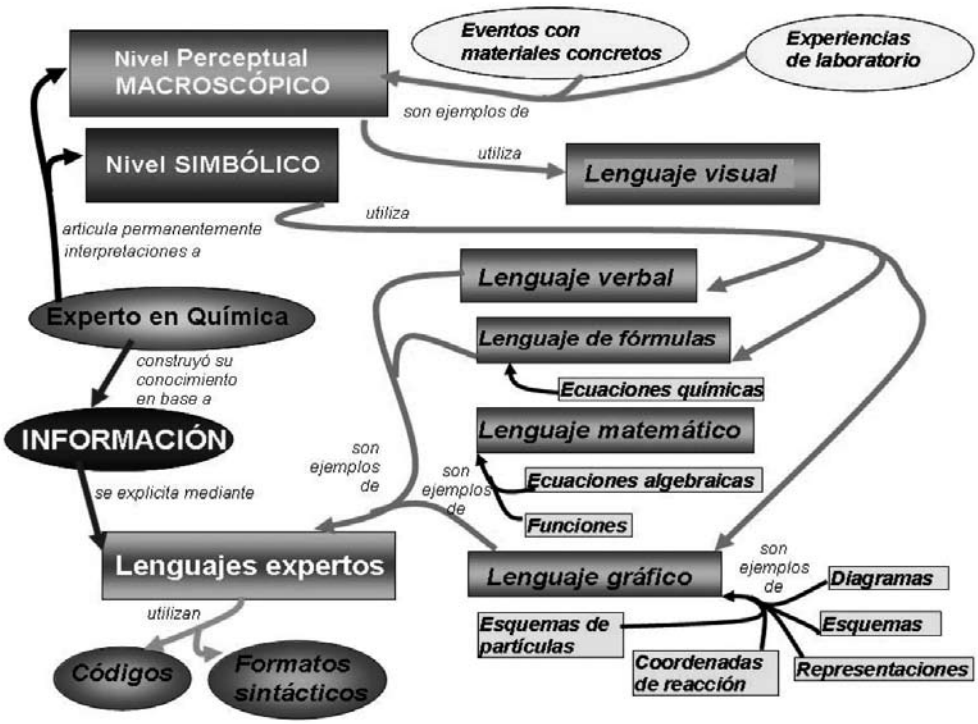


Figura 1. Red conceptual sobre niveles y lenguajes específicos con los que se maneja un experto en Química.

Desde nuestro punto de vista aceptamos que el conocimiento que maneja un experto requiere la mediación del lenguaje para ser comunicado. Por otra parte, el estado de conocimiento adquirido por cada estudiante sólo podrá evaluarse si éste lo hace explícito. Los discursos explícitos, por lo tanto, son fuentes de comunicación, y también pueden ser origen de errores cuando los estudiantes novatos en el tema se ven forzados a utilizarlos, habiendo sido sus aprendizajes fundamentalmente de tipo memorístico**.** Aceptar que la complejidad del discurso de Química es fuente de potencial incomunicación entre docentes y estudiantes, significa aceptar que algunas fallas en el aprendizaje de los estudiantes no serían simplemente el resultado de sus escasas dedicaciones al estudio, ni de poco esfuerzo didáctico de los docentes.

LOS MODELOS MENTALES, LOS MODELOS EXPLÍCITOS

Se dijo antes que una clase, un aula, es un espacio de comunicación entre expertos en un tema (los docentes) y novatos en dicho tema (los estudiantes). La comunicación comprensiva entre individuos se logra cuando éstos comparten modelos mentales sobre el tema que están tratando. Los docentes –expertos en el tema que intentan "transmitir"– tienen en sus mentes un conocimiento complejo

que les permite "moverse" cognitivamente dentro de diferentes lenguajes y atravesando diferentes dimensiones. ¿Podrá fácilmente lograrse una buena comunicación entre el docente y sus estudiantes, siendo tan diferente el conocimiento previo que cada uno de ellos tiene en sus mentes? Este hecho, analizado en investigaciones previas (Galagovsky y cols., 2009) tiene una consecuencia fundamental: la necesidad de discriminar el concepto de "modelo" en función de su naturaleza implícita o explícita. Un modelo que está en la mente de un sujeto experto (sea éste científico y/o docente) es un "modelo mental experto". Cuando con fines comunicacionales este modelo es explicitado, se transforma en una compleja trama de explicaciones que se expresan complementariamente en diferentes lenguajes y enfoques, recreados en el aula a partir de transposiciones didácticas: aparece, entonces, el "modelo explícito".

El estudiante novato recibe este "modelo explícito" como discurso de ciencia escolar… Cabe preguntarse ¿se trata de un modelo mental para este sujeto? En todo caso, a partir de estas explicitaciones, y en interacción con sus conocimientos previos los estudiantes reconstruyen en sus mentes "modelos mentales idiosincrásicos". Idealmente, ambos modelos mentales –el del experto y el del estudiante que ha aprendido correctamente– deberían coincidir. Es decir, se espera que los estudiantes construyan en sus mentes modelos científicos similares a los que maneja el experto. Sin embargo, por ser los modelos intrincadas redes conceptuales, cabe reflexionar hasta qué punto se logran los objetivos de aprendizaje de un tema complejo.

La Figura 2 resume el marco teórico que diferencia entre modelos mentales y modelos explícitos y los relaciona con la diferencia entre expertos y novatos en un tema.

Básicamente, en la Figura 2 se sostiene que:

- Los científicos construyen "modelos mentales expertos" acerca de determinados fenómenos. Estos modelos "no se ven", pues están en las mentes de los científicos quienes deben presentarlos (explicitarlos) para discutirlos con sus pares (Giere, 1992). Las argumentaciones entre científicos se realizan sobre la base de comunicar sus pensamientos, que son complejos sistemas de conceptos y relaciones conceptuales.
- Los docentes construimos nuestros propios modelos mentales expertos a partir de los modelos científicos explícitos que hemos aprendido, de lo que encontramos en los libros, de la lectura de artículos publicados en revistas científicas, y/o a partir de lo que investigamos. Con la finalidad de enseñar, modificamos, simplificamos, y mediante transposiciones didácticas producimos discursos explícitos para presentarlos a los estudiantes. Los docentes esperamos que los estudiantes ganen autonomía en la construcción de sus aprendizajes y recurran a los textos sugeridos en la bibliografía respectiva para evacuar dudas, completar y consolidar sus conocimientos. Un docente utiliza en sus clases partes de "modelos científicos explícitos", además de otros recursos didácticos.
- Los estudiantes, a su vez, construyen sus propios "modelos mentales idiosincrásicos" en función de la información que reciben de profesores, de los textos, de sus conocimientos previos y de sus propias características cognitivas.

- Deben diferenciarse entre los conceptos "conocimiento" e "Información". Los discursos son informaciones; el conocimiento es aquello que se ha construido en la mente de cada sujeto. Esta diferencia marca fuertemente la postura epistemológica de quien enseña; pues no es lo mismo la postura frente a la clase cuando el docente experto toma conciencia que su profesión no consiste en "transmitir conocimientos", sino en generar situaciones didácticas donde se presenta información (Galagovsky, 2004 a,b).
- La investigación educativa da cuenta de las ideas previas erróneas, o las ideas alternativas erróneas y resistentes en los estudiantes (Kelly y Jones, 2008). Desde nuestro enfoque, muchas de estas ideas erróneas podrían tener su origen en procesamientos inadecuados del discurso científico escolar (Galagovsky y Bekerman, 2009).

EL LENGUAJE DESDE LA SEMÁNTICA

Una oración es una secuencia de palabras que tiene una significación como estructura; es decir, tiene una codificación semántica.

Aitchison (1994) desde sus investigaciones en el área de la lingüística sostiene que para otorgar significados a una oración, frente a una palabra, la mente comienza por seleccionar términos de acuerdo a su campo semántico: así, ante una palabra como *martillo* seleccionará *clavo*, *golpear*, etc.; cuando se trate de parejas de palabras, escogerá el término faltante –*hombre/mujer*– o el opuesto –*grande/chico*–, y, así, sucesivamente, la mente ubica cada palabra en su contexto de significación. A su vez, Cruse (1990) afirma que el sentido de una palabra se revela a través de las relaciones de significación que ésta contrae con las otras palabras del lenguaje. En consecuencia, distingue dos tipos de relaciones: las que están bien definidas y son sistemáticas –sinonimia, antonimia, hiponimia– y aquellas en las cuales el sentido de la palabra se manifiesta a través de sus relaciones contextuales. Sobre estas últimas relaciones de sentido o relaciones léxicas, Lyons (1997) sostiene que "…*desde un punto de vista semántico, la estructura léxica de una lengua se puede considerar como una red de relaciones de sentido: como una tela en la que cada hilo es una relación y cada nudo de la tela es un lexema diferente*…". El valor cognitivo de las relaciones léxicas consistiría en revelar cómo están organizadas las palabras en el diccionario o lexicón mental de cada individuo (Aitchison, 1994); así, cada individuo utilizaría su propio lexicón mental para reconocer y seleccionar palabras cuando tiene que utilizarlas en la comprensión y/o en la producción de una respuesta. Según esta autora, existen evidencias de que en el léxico mental las palabras constituyen redes que se organizan en campos semánticos; esta afirmación concuerda también con los puntos de vista de Quillian (1968) y Sigman y Cecchi (2001).

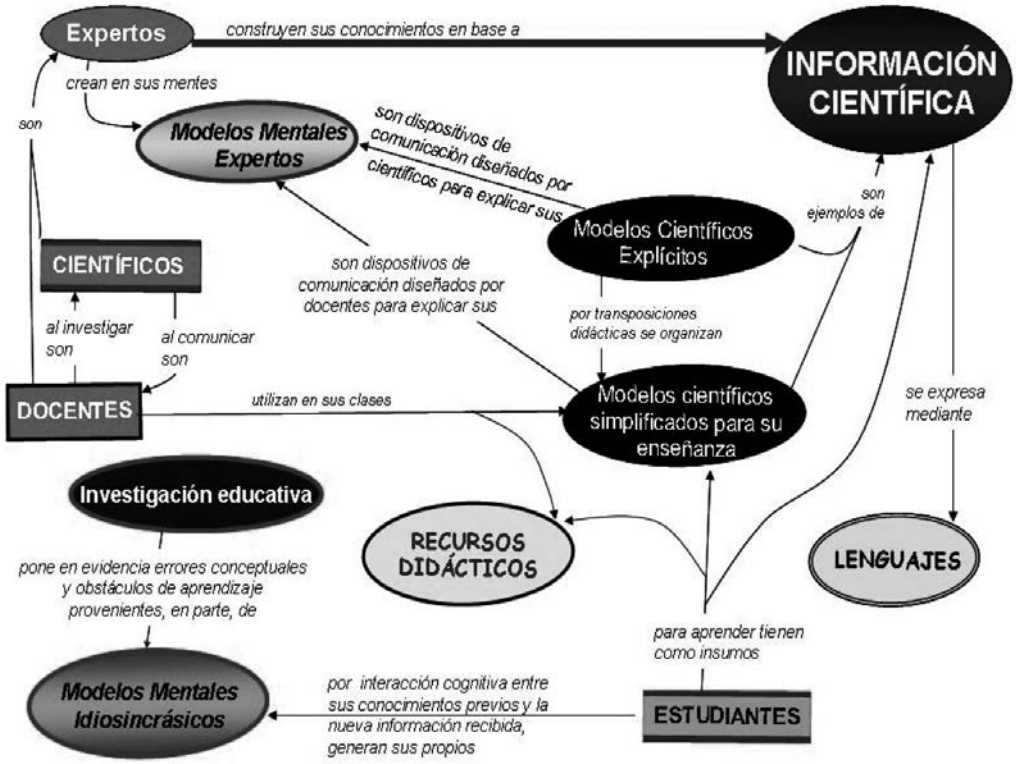


Figura 2. Diferencias entre modelos mentales y modelos explícitos, para expertos y novatos (adaptada de Galagovsky y cols., 2009).

¿Por qué estos aspectos provenientes de la lingüística resultan de gran importancia en investigaciones educativas sobre la construcción de *modelos mentales* por parte de los estudiantes? La respuesta parece evidente: la mayoría de los términos (palabras) que se utilizan en el lenguaje de Química no encuentran una significación sencilla dentro del lexicón mental de los estudiantes; de allí, sus dificultades en insertar tales términos en contextos de significación apropiados. Aparecen obstáculos cognitivos para el novato que intenta engarzar nueva información química en marcos de significación ya construidos (los conocimientos provenientes de la experiencia cotidiana). Si extendemos esta situación del lenguaje verbal a los otros lenguajes de la Química, podremos dimensionar el *anegamiento* cognitivo que se le presenta al estudiante novato que recibe una inmensa cantidad de información para procesar desde su atención conciente, su memoria de trabajo y su memoria de largo plazo (Bekerman, 2007; Galagovsky y Bekerman, 2009).

El modo en que cada estudiante contextualice semánticamente los conceptos que aprende determinará las relaciones que pueda establecer con ellos y, ellas condicionarán fuertemente la construcción de su modelo mental**.** Este proceso ocurre para cada uno de los lenguajes componentes del discurso

de la Química. Desde otros marcos teóricos, Taber (2009) señala que entender química demanda comprender el simbolismo que se utiliza en esta disciplina, y que, por ejemplo, dentro del lenguaje de ecuaciones químicas hay variantes de estilo que suponen sutiles cambios de significación. Los docentes manejamos esos cambios de códigos de forma tan cotidiana que ni siquiera somos conscientes de la dificultad que tienen los estudiantes para discriminar diferencias o aspectos comunes en dichos cambios.

El lector podrá comprender mejor estas dificultades mencionadas en los párrafos anteriores si trata de descifrar los motivos conceptuales que subyacen a cada una de las diferentes opciones de escritura simbólica de la misma reacción química, presentadas en la Figura 3. Por un lado, si el lector no es un experto en química, podrá darse cuenta inmediatamente de las dificultades con que se enfrenta un lector novato para comprender estas diferencias de formato. Por otro lado, si el lector es un especialista en química, tendrá que hacer un esfuerzo mental para situarse (momentáneamente) en el rol de un estudiante novato, y tomar conciencia sobre la complejidad conceptual necesaria para comprender dichas diferencias

a) $Fe + 3\ HCl \rightarrow FeCl_3 + 3/2\ H_2$

b) $2\ Fe^{o}(aq) + 6\ Cl^{-}(aq) + 6\ H^{+}(aq) \rightarrow 2\ Fe^{3+}(aq) + 6\ Cl^{-}(aq) + 3\ H_2\uparrow$

c)
$$\begin{array}{l} 2\ [Fe^{o} \rightarrow Fe^{3+} + 3\ e^{-}\ ] \\ 3\ [\ 2\ H^{+} + 2\ e^{-} \rightarrow H_2{}^{0}] \\ \hline 2\ Fe^{0} + 6\ H^{+} \rightarrow 2\ Fe^{3+} + 3\ H_2{}^{0} \end{array}$$

Figura 3. Tres ejemplos de formatos sintácticos diferentes para describir la reacción de formación del cloruro férrico mediante el lenguaje de fórmulas químicas.

Veamos otro ejemplo, tomado de un texto (Química de la American Chemical Society, 2005) donde se presentan las fuerzas de atracción intermoleculares de tipo dipolo-dipolo. Se trata de un dibujo, tal como el que se muestra en la Figura 4, y un texto –copete– que dice *"¿Cómo se pueden visualizar las atracciones dipolo-dipolo? Mientras se empujan unas a otras en el líquido, las moléculas dipolares favorecen las disposiciones en las que se maximicen sus interacciones dipolo-dipolo*."

Cabe preguntarse qué significarían estos dibujos y ese texto para un novato. Si se analiza la Figura 4 desde sus códigos gráficos, no queda claro si ambas situaciones (de pares de dipolos) son sucesivas para el mismo par de moléculas o si las cuatro moléculas pueden relacionarse entre sí de esa manera. Además de faltar el factor dinámico, no se utiliza ningún código para las atracciones; podría pensarse erróneamente –por ejemplo– que las atracciones entre las dos moléculas inferiores se producen entre las zonas centrales, de mayor volumen. Otra cuestión que no es precisa es el abanico de colores, y su significado, puesto que los códigos de colores coinciden con las letras "delta más" ó "delta menos", desde el lenguaje gráfico tendríamos una redundancia.

Los expertos sabemos que los dibujos estáticos y en dos dimensiones no expresan los aspectos dinámicos de los modelos cinéticos de la materia (que tenemos los expertos como modelos mentales). Esta dificultad se evidencia en el ejemplo anterior que corresponde al estado líquido y por tanto no explicita de manera completa las ideas de los expertos. Sin embargo, investigaciones muestran que las animaciones que expresan movimientos de las partículas tampoco garantizan que el observador comprenda las ideas de fuerzas intermoleculares que imaginan los expertos (Rohr y Reimann, 1998).

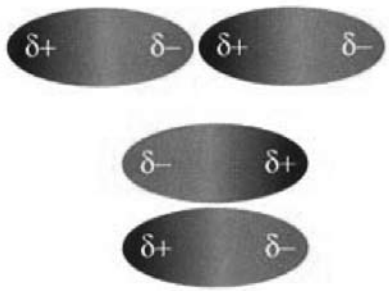


Figura 4. Dibujo utilizado en el libro Química (ACS, 2005, pág. 28) para explicar atracción entre dipolos.

LOS ESTUDIANTES SE ENFRENTAN CON LENGUAJES CRÍPTICOS

Desde nuestras investigaciones sobre aprendizaje de la Química (Galagovsky et al., 2008) sostenemos una secuencia de hipótesis que provienen de unificar conceptualmente las Figuras 1 y 2, y que podemos enumerar de la siguiente forma:

- Los estudiantes novatos se enfrentan en la asignatura Química –hecho extensible a otras ciencias naturales– a un discurso complejo, escrito en múltiples lenguajes.
- Cada lenguaje remite a conceptos abstractos, a entes inobservables, utilizando signos, formatos y representaciones específicas, que constituyen la información científica (escolar).
- Los estudiantes novatos reciben pasivamente una cantidad abrumadora de información científica escolar. Ellos tratan de comprender y quizás lo logran en pequeñas tramas de significaciones, debiendo fundamentalmente memorizar fragmentos de lenguajes pertenecientes a discursos descontextualizados.
- A partir de esta baja eficiencia en la comprensión, los estudiantes cumplen su oficio de alumno, de la mejor forma posible –generalmente estudiando y respondiendo con gran esfuerzo memorístico–; pero, frente a preguntas que les exigen mostrar sus modelos mentales idiosincrásicos, organizan respuestas que ponen en evidencia fallas de aprendizaje.

Un ejemplo paradigmático que muestra una evidencia que sostiene las hipótesis mencionadas proviene de nuestras investigaciones, y se relata a continuación.

Se contó con un grupo de estudiantes voluntarios de Química de 4º año (16 años de edad) de un Bachillerato de la Ciudad de Buenos Aires, para realizar una investigación sobre sus aprendizajes previos del tema "disoluciones". La enseñanza tradicional del tema había tenido lugar el año lectivo anterior, y, previamente al trabajo de investigación, la docente había realizado un repaso de todos los temas involucrados. Así, los estudiantes habían estudiado, aprobado con excelentes calificaciones, y repasado, la unidad "Uniones químicas", que incluía, entre otros temas, uniones intermoleculares de London, dipolo-dipolo; dipolo-dipolo inducido; ion-dipolo y puente de hidrógeno. Sus estudios habían tenido como fuente de información lo aprendido en las clases y también realizaron consultas en libros de texto (Aldabe, 1999; Alegría, 1999; Candás, 2000; Del Fávero, 2001). Durante la indagación se les solicitó que explicaran lo ocurrido en –entre otros sistemas materiales binarios– una disolución de cloruro de sodio en agua, organizando sus respuestas con textos y dibujos. Se esperaba que ellos identificaran correctamente tipos de sistemas formados, tipos de partículas e interacciones involucradas. Las respuestas indicaron fallas conceptuales (Bekerman, 2007; Galagovsky y Bekerman, 2009). Uno de los estudiantes –aquí identificado como F– presentó el dibujo de la Figura 5:

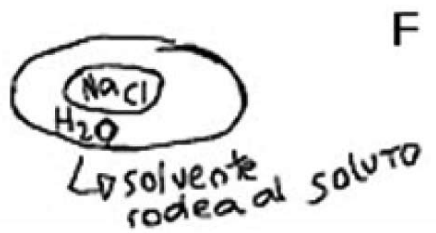


Figura 5. Dibujo erróneo producido por el estudiante F.

El estudiante F dibujó dos elipses concéntricas, dentro de la elipse interna se ve la fórmula "NaCl" y dentro de la externa la fórmula molecular del agua. Una aclaración verbal dice "*el solvente rodea al soluto*", una flecha aclaratoria que parte de la elipse externa parece representar que el agua rodea al cloruro de sodio.

Encontramos que la proposición verbal correcta "*el solvente rodea al soluto*" fue completada por el estudiante mediante un dibujo aclaratorio (lenguaje gráfico) que es claramente erróneo desde el punto de vista científico. Para un experto, es evidente que dicho dibujo no refleja otras proposiciones verbales tales como "*el cloruro de sodio es un compuesto iónico y los iones se disocian en especies de cargas opuestas al disolverse*", o "*la polaridad del agua permite la solvatación de los iones con carga neta*", etc. Es decir, con un aprendizaje con comprensión parcial, los estudiantes fundamentalmente memorizarían aspectos descontextualizados del discurso escolar; y este proceso ocurriría para cada uno de los lenguajes utilizados en dicho discurso. Asimismo, al ver el dibujo de la Figura 5, un experto decide que desde el lenguaje gráfico, el cloruro de sodio está dibujado como una molécula, y el agua, por su tamaño y polaridad, no podría como molécula rodear-englobar a los iones juntos... Sin embargo, es muy probable que estas cuestiones no hayan sido así conceptualizadas por el estudiante, quien probablemente sólo reorganizó su respuesta a partir de la proposición verbal mostrada

en su dibujo, e ideó una forma gráfica arbitraria para representar –a su manera, de la mejor forma posible– dicha proposición.

CONCLUSIONES

Lo expuesto en este capítulo pretende advertir al lector docente de Química sobre la complejidad de los lenguajes que utiliza. Esta complejidad tiene varias componentes:

- Por un lado, la cualidad de modelo abstracto que caracteriza a la gran mayoría de los conceptos químicos fundamentales. Es decir, electrones, iones, protones, neutrones, orbitales, números de oxidación, electronegatividades, etc. etc., son entidades o magnitudes cuya característica fundamental no es la de ser "reales", ni "verdaderas", sino "ser modelos de", o "modelos para" (Galagovsky, 2008b; Galagovsky, 2010a).
- Por otro lado, los lenguajes son convenciones; por lo tanto, comprenderlos requiere la explicitación de los códigos utilizados y la comprensión de los formatos sintácticos específicos. El lenguaje gráfico que intenta describir los modelos submicroscópicos, atómicos, y subatómicos de la Química es especialmente polisémico. Surge así la necesidad de, al menos, consensuar los códigos gráficos utilizados durante la enseñanza de la química[2].

Una vez aceptada la complejidad del discurso de la Química, se deriva inmediatamente la toma de conciencia sobre la "distancia" entre el modelo mental de los expertos y el modelo mental que construirían los estudiantes, a partir del mismo discurso. La nueva pregunta que cabe formularse, entonces, es: ¿Cómo lograr que nuestros estudiantes construyan modelos mentales consistentes con los modelos de los expertos? Reflexionar sobre esta respuesta sobrepasa la intención del presente capítulo; sin embargo, un ejemplo de los puntos de vista derivados de las concepciones aquí expresadas puede verse en Galagovsky y Giudice (2008).

Finalmente, lo expuesto en este capítulo imprime un factor más de presión sobre el ya sobredimensionado currículo de química de escuela secundaria. Porque estamos proponiendo una necesaria reflexión con los estudiantes que advierta sobre la polisemia y los códigos variados utilizados en los lenguajes de la Química, y no su simple uso –irreflexivo y con carácter de verdad absoluta—. Al respecto, es interesante reflexionar acerca de que una necesaria argumentación sobre el desarrollo de códigos consensuados para los lenguajes químicos exige una aproximación histórica de los mismos. Es decir, hay historia detrás de cómo se presentan-nombran-clasifican-dibujan, átomos, moléculas, confórmeros, isómeros, etc.

Este punto muestra una nueva perspectiva desde la cual podrá abordarse la incorporación de histo-

---

[2] La mirada reflexiva sobre textos utilizados comúnmente en la escuela media o en los cursos básicos de química universitaria podrá enriquecer el análisis del lector. Le proponemos que trate de ubicarse en la mente de un estudiante novato que intenta simplemente, dar significado a un párrafo con textos, dibujos, esquemas, fórmulas, etc. Varios ejemplos de este tipo de análisis pueden encontrarse en Alí y cols (2010).

ria en las clases de química, para generar motivación y, también, para ayudar a la construcción de una mejor idea sobre la naturaleza de la ciencia en los estudiantes (Scheffel y cols, 2009; Galagovsky, 2008b; Galagovsky, 2010a).

Bibliografía

Aitchison, J. (1994). *Words in The Mind. An introduction to the mental lexicon*. Oxford. Blackwell.

Aldabe, S., Aramendia, P., Lacreu, L. (1999). *Química 1, fundamentos.* Buenos Aires: Colihue.

Alegría, M. y otros. (1999). *Química 1-Polimodal,* Buenos Aires: Santillana.

Alí, S.; Di Giacomo, M. A.; Galagovsky, L.; Gemelli, M. E.; Giudice, J.; Lacolla, L.; Pepa, L.; Porcel de Peralta, C. (2010). *Libros de texto de Química: ¿fuentes de comunicación o incomunicación? Revista Industria y Química***.** Asociación Química Argentina (en prensa).

Bekerman, D. (2007). Tesis Doctoral: *La utilización de la imagen en los procesos de Enseñanza y Aprendizaje de Química Orgánica*. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Farmacia y Bioquímica.

Candás A., Fernández D., Gordillo G. y Wolf, E. (2000). *Química.* Buenos Aires: Estrada.

Cruse, D. A. (1990). *Language, Meaning and Sense: Semantics*, N. Collinge (ed.), *An Encyclopaedia of Language*, London: Routledge.

Del Fávero, M. A., Farré, S. M., Moreno P. S., Olazar, L. B, Steinman, M.C. (2001). *Química activa*. Buenos Aires: Puerto de Palos.

Galagovsky, L. (2007). Enseñanza vs. aprendizaje de las Ciencias Naturales: El papel de los lenguajes y su impacto en la comunicación entre estudiantes y docentes. Revista Episteme, Tecné y Didaxis, número extra pp 66-87. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia.

Galagovsky, L. (2008a). Enseñanza de las ciencias naturales: un desafío a nivel mundial. El caso particular de enseñanza de la química. Revista *Proyecciones*, Universidad Tecnológica Nacional (Facultad Regional Buenos Aires), 6 (2) 23-36.

Galagovsky. L*. (Coordinadora)* (2008b). *¿Qué tienen de "naturales" las Ciencias Naturales?* Editorial Biblos, Buenos Aires.

Galagovsky, L. *(Coordinadora)* (2010a). Didáctica de las ciencias naturales. El caso de los modelos científicos. Lugar Editorial, Buenos Aires (en prensa).

Galagovsky, Lydia (2010b). ¿Podrá modificarse el currículo de enseñanza de química en la escuela secundaria? *Revista Industria y Química* (Asociación Química Argentina), 361, pp. 45-51.

Galagovsky, L. y Bekerman D (2009). La Química y sus lenguajes: un aporte para interpretar errores de los estudiantes. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, Vigo, España. Vol 8(3) 952-975. http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen8/ART11_Vol8_N3.pdf

Galagovsky Lydia, Di Giacomo María Angélica y Castelo Verónica (2009). Modelos vs. dibujos: el caso de la enseñanza de fuerzas intermoleculares. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8(1), 1-22. Vigo, España. http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen8/ART1_Vol8_N1.pdf

Galagovsky, Lydia R., Rodríguez, María Alejandra, Stamati Nora y Morales Laura F. (2003). Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de ciencias naturales. Un ejemplo para el aprendizaje del concepto de reacción química a partir del concepto de mezcla. Enseñanza de las Ciencias, 21(1), 107-121, Barcelona, España.

Giere, R. (1992). *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo.* México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Original en inglés de 1988.

Gilbert, J.K. Treagust D. (eds.) (2009). *Multiple Representations in Chemical Education,* Models and Modeling in Science Education 4, Springer Science Business Media.

Giudice J. y Galagovsky L. (2008). Modelizar la naturaleza discontinua de la materia: una propuesta para escuela media. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, Vigo, España, 7(3), 629-658.

Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning, 7*, 75–83.

Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: a changing response to a changing demand. *Journal of Chemical Education, 70*(9), 701–705.

Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry: Logical or psychological? *Chemical Education: Research and Practice in Europe, 1*(1), 9–15.

Johnstone A.H. (2010). You cant´t get there from here. *Journal of Chemical Education*, 87(1), 22-29.

Justi, R.; Gilbert, J.K. (2002). Modelling teachers´ views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.

Kelly, R.M y Jones, L.L. (2008). Investigating students´ability to transfer ideas learned from molecular animations of the dissolution process. *Journal of Chemical Education*, 85, 2, 303-309.

Lemke, J. L. (1997). *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores.* Ediciones Paidós Ibérica, Barcelona, España.

Lyons, John (1997). *Semántica Lingüística: Una Introducción***,** Barcelona, Paidós.

Quillian, M. R. (1968). "Semantic Memory", en M. Minsky (ed.) *Semantic Information Processing*. Cambridge, Mass: The MIT Press.

Rohr, M. and Reimann, P. (1998). Reasoning with multiple representation when acquiring the particulate model of matter. En *Learning with multiple representations*. Van Someren, M.; Reimann, P.; Boshuizen, H. and de Jong T. (eds.). Pergamon: Amsterdam.

Scheffel, L.; Brockmeier, W. and Parchmann, I. (2009). Historical Material in Macro–Micro Thinking: Conceptual Change in Chemistry Education and the History of Chemistry. En J.K. Gilbert, D. Treagust (eds.), *Multiple Representations in Chemical Education.* Springer.

Sigman, Mariano y Cecchi, Guillermo. Global organization of the Wordnet lexicon. *Proc Natl Acad Sci* U S A, 98(4):1935-40, February *2001.*

Taber, K. S (2009). Learning at the Symbolic Level. En J.K. Gilbert, D. Treagust (eds.), *Multiple Representations in Chemical Education. Springer.*

Capítulo 8

LA PROMOCIÓN DE LA REGULACIÓN Y AUTORREGULACIÓN EN QUÍMICA A TRAVÉS DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL

Cristian Merino, Marcela Arellano y **Roxana Jara**
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Instituto de Química,
Laboratorio de Didáctica de la Química, Chile, cristian.merino@ucv.cl

Se sabe que la generación del conocimiento científico se produce a través de una extensa variedad de medios y actividades tales como analizar, clasificar, comparar, comunicar, evaluar, experimentar, explorar, formular preguntas, investigar, medir, observar, planificar, predecir, registrar, usar modelos, etc. Adicionalmente, los objetivos educativos nos invitan a que los estudiante tengan un rol activo en el proceso de aprender. Se invita a enseñar más como un proceso que debe posibilitar que los propios estudiantes identifiquen nuevas formas de ver y de interpretar fenómenos que como un conjunto de técnicas orientadas a transmitirles conceptos o procedimientos que les son totalmente nuevos o desconocidos (Jorba y Sanmartí, 1996). Por lo tanto, se hace cada vez más necesario introducir modificaciones a los métodos de enseñanza y los sistemas de planificación y evaluación deben ir acorde a esta nueva visión que está adquiriendo la educación en ciencias. En el proceso de enseñanza de las ciencias y en especial de la química, para la adquisición de experiencias y técnicas, un aspecto central en todos los niveles educativos son las actividades *experimentales en el laboratorio*. Sin embargo, la investigación didáctica muestra que esta tarea entraña numerosas dificultades y muchas veces no cumple las expectativas sobre los resultados previstos (Hodson, 1996; Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999; Séré, 2002).

En la universidad, la correspondiente *experimentación científica*[1] (Izquierdo et al., 1999) generalmente se diseña de manera subsidiaria a la clase teórica en el cual se exponen los conceptos "necesarios", y las ideas que se espera que surjan y se consoliden durante el trabajo experimental son las que ya se han introducido en clase. En este marco, lo usual es tener un docente de elevado nivel académico que desarrolla la clase y otro diferente, que a menudo es un ayudante, auxiliar o monitor de laboratorio, a cargo de la docencia experimental. La labor de este último es coordinar las actividades prácticas y desarrollarlas de manera tal que confirmen o *verifiquen* las ideas trabajadas en la

[1] En el marco del modelo cognitivo de ciencia escolar (Izquierdo, Espinet et al., 1999), llamamos 'experimentación científica' a aquella que tiene intención educativa, incluso la que tiene lugar en la universidad. Se trata del nombre con que designamos a cualquier transposición didáctica de una experimentación científica erudita o académica.

Merino, C., Arellano, M., Adúriz-Bravo, A (Eds.) *Avances en didáctica de la química: modelos y lenguaje.*
© 2014. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Impreso en Valparaíso, Chile.

clase teórica, con lo cual la práctica en el laboratorio se transforma simplemente en un medio para reafirmar las convenciones o aserciones expuestas en la clase magistral (Figura 1).

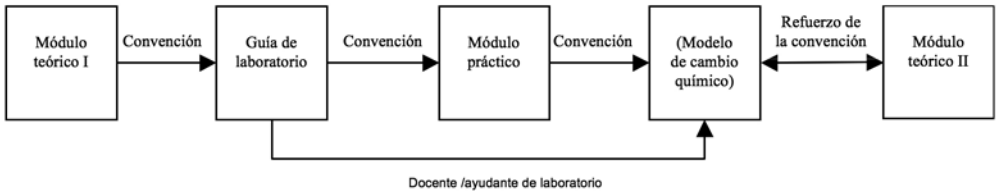


Figura 1. El diseño de la enseñanza de la química universitaria se reduce muchas veces a una serie de convenciones o ajustes entre secciones de teórica, laboratorio y problemas. El modelo teórico para pensar el laboratorio queda desdibujado.

Sin embargo, tal como hace notar Derek Hodson (1996), no todas las formas de aprendizaje en el laboratorio facilitan por igual la apropiación significativa del conocimiento. En efecto, cuanto más rutinario es un aprendizaje, más *inerte* o cristalizado es el conocimiento resultante y más dificultosa su movilización, aplicación y transferencia. Por ello, si el objetivo del profesorado universitario es que los estudiantes sean capaces de aplicar *de manera autónoma* lo que saben, la actividad experimental debería adecuarse a este objetivo propendiendo a una "sintonía" entre el pensamiento, el discurso y la acción (Izquierdo, et al., 1999). Una práctica reiterativa, instrumentalizada o algorítmica produce aprendizajes más pobres o limitados que una práctica reflexiva, es decir, que la realización de diversas actividades con el fin de promover la reflexión metacognitiva *sobre* lo que se está aprendiendo y *sobre* la forma en que se lo aprende.

Una práctica reflexiva, sin embargo, suele ser más lenta y más exigente para los estudiantes que la instrucción directa en ciertas técnicas, protocolos o conocimientos declarativos, por lo que requiere mejores condiciones de trabajo y una propuesta que recoja lo que ya existe y enseñe cómo trabajar *autorreguladamente*. Séré (2002) e Izquierdo, Sanmartí y Espinet (1999) insisten en esta misma idea haciendo ver que es necesario diseñar las prácticas experimentales de laboratorio de manera que los estudiantes comprendan bien su base teórica pero también tengan la oportunidad de ponerla en marcha al interpretar los datos experimentales mediante modelos y lenguajes abstractos, complejos y ricos.

En los últimos 30 años la interpretación de la naturaleza del trabajo de laboratorio ha sufrido una transformación, evolucionando desde una atención puesta en el desarrollo de habilidades y destrezas involucradas en los procesos de la ciencia y de su evaluación (Hoftein y Lunetta, 2004), hacia unas actividades planeadas como situaciones problemáticas y ligadas íntimamente al marco teórico (Gil y Valdés, 1996; Gil, 1991). En este mismo sentido Driver (1988) y Nunziati (1990) señalan que cada persona posee un sistema de aprender, que ha ido construyendo progresivamente de manera autónoma a lo largo de los años. Estas investigaciones lidian con un sistema tradicional de enseñanza, donde la actividad experimental responde a una visión estática de la naturaleza de la ciencia y reproductiva desde la lógica de la evaluación, sin contribuir a una enseñanza científica comprensiva para interpretar los fenómenos del mundo con teoría y favorecer su transformación y desarrollo (Quintanilla, 2003). Para Perrenoud (1991) la regulación continua de los aprendizajes pretende básicamente

formar a los alumnos en la ordenación de sus propios procesos de pensamiento y de aprendizaje; su objetivo es conseguir que los estudiantes vayan encontrando su propia manera de construir un buen sistema interno de pilotaje para responder a problemas y que lo mejoren progresivamente.

Con el propósito de transformar y hacer pequeños cambios en nuestra práctica, una estrategia didáctica básica es enseñar a los alumnos, a ir construyendo un modelo personal de acción, a ser autónomos. Con esta idea en mente por más de 8 años que los autores de este capítulo (Arellano y Merino, 2005; Merino 2004, 2005), es que hemos venido trabajando estrategias para promover la autorregulación de los aprendizajes en el laboratorio e intentando responder la siguiente pregunta: ¿cómo promover y desarrollar en nuestros estudiantes una capacidad personal y autónoma de aprender en el laboratorio?, es decir, ¿cómo se enseña a aprender a aprendiendo en la actividad experimental?

Bajo este marco hemos trabajado en el diseño, implementación y evaluación de un instrumento inspirado en la regulación y autorregulación de los aprendizajes, para conseguir que cada estudiante vaya construyendo un sistema personal de aprender y que le permita alcanzar una mayor autonomía. De este modo nos hemos preguntado de forma constante: ¿Puede el estudiante lograr aprendizajes que le permitan crear conocimiento con una base sólida en el raciocinio, interpretación, el análisis de datos, la relación entre variables y la anticipación y planificación de su práctica experimental, por medio de la inclusión (en el proceso), de una estrategia inspirada en la regulación de los aprendizajes?

REGULACIÓN Y AUTORREGULACIÓN

Georgette Nunziati (1990), destaca que cada persona posee su propio sistema de aprender, que ha ido construyendo progresivamente y de manera autónoma a lo largo de los años, y que poder identificar ese sistema ayuda a continuar aprendiendo. La denominada regulación continua de los aprendizajes pretende básicamente formar a los estudiantes en la metacognición y en la autorregulación de sus procesos de pensamiento, para conseguir que los estudiantes vayan encontrando su propia manera de construir un robusto sistema internalizado de trabajo para aprender y que vayan mejorando ese sistema progresivamente (ver Tabla 1).

Tabla 1. Regulación cognitiva.

En esta línea de la regulación cognitiva, Pea (2001) está en desacuerdo con la concepción de que la inteligencia es una “propiedad” de la mente. Más bien sostiene que la inteligencia se ha de ver como ejecutada, y no cómo poseída. Esta inteligencia distribuida estaría siempre presente en las herramientas, en las formas de representación y en otros artefactos que creamos para quitarnos de encima lo que, en caso contrario, sería una carga cognitiva demasiado pesada y propensa a los errores de ejecución. Siguiendo con estas ideas, el modelo de la ‘cognición distribuida’ pone de manifiesto que los recursos externos regulan el sistema funcional de actividades, afectando nuestra concepción de qué, cómo y por qué necesitamos conocer o aprender. La meta clásica de que todos los estudiantes posean el conocimiento químico de base cede ante la nueva meta de la estimación y la resolución de problemas: actividades consistentes en razonar con herramientas disponibles en el grupo clase, reguladas y autorreguladas.

Se sigue que sería preferible subrayar en clase la importancia del acceso a *herramientas con las cuales pensar* antes que fomentar una comprensión "en soledad" sin herramientas. Resulta entonces central asociarse con otros en el aprendizaje, en vez de cultivar únicamente las cogniciones que están "en la propia cabeza". Todos estos elementos modifican nuestra concepción de la experimentación científica escolar: queremos pasar del "dominio" a la ejecución en común, de la "solvencia" a la autorregulación.

¿Por qué usamos la autorregulación como un recurso mediador en las clases de laboratorio de química? La *evaluación de los aprendizajes* presenta básicamente dos funciones (Sanmartí, 2002):

- *Una función de carácter social.* Comprende la selección, la clasificación y la orientación de los estudiantes. La evaluación de la función social se dirige a *seleccionar* a quienes han adquirido los conocimientos "socialmente validados" a fin de proporcionarles la certificación correspondiente al final de cada unidad de actividad.
- *Una función de carácter pedagógico.* Consiste en la regulación de los procesos de enseñanza y aprendizaje, es decir, en la adaptación de las actividades de enseñanza a las necesidades de los estudiantes, con el fin de que ellos aprendan significativamente. La evaluación de la función pedagógica se inserta en el proceso *formativo*, ya sea al inicio, durante él, o al final.

La evaluación que se practica en muchos centros de enseñanza de nivel universitario opera desde la primera función. Sin embargo, debería ser al contrario, si queremos que los cursos estén orientados a aprendizajes significativos de los estudiantes. Como ya adelantamos, el diseño de las prácticas de laboratorio "verificativas" atenta contra la posibilidad de un proceso de evaluación de calidad. Entre las aportaciones de las diversas corrientes de investigación en este campo, se destacan la denominada *evaluación formadora* (Nunziati, 1990), de carácter marcadamente educativo, y la *autoevaluación*, entendida como la representación de las propias capacidades y formas de aprender. Para todo ello, como ya anunciamos, es fundamental aprender a autorregularse.

Como elementos esenciales del proceso de autorregulación, nos interesa destacar:

- La comunicación de los objetivos didácticos de la actividad y la comprobación de la robustez de la representación que de ellos se hacen los estudiantes.
- El dominio, por parte de quienes aprenden, de las operaciones de anticipación, planificación, regulación y ajuste de la acción.
- La apropiación de los criterios e instrumentos de evaluación, que pasan de ser 'externos' y de los profesores a ser 'internalizados' y de los estudiantes.

Estos elementos deberían convertirse en "protagonistas" del proceso y, a la vez, en objetivos prioritarios del aprendizaje. En este sentido, sería necesario potenciar en nuestros estudiantes las capacidades de representar la actividad a realizar. Los estudiantes deberían aprender a dimensionar cada una de las acciones que componen una actividad,

- *Anticipar.* Los estudiantes deberían aprender a predecir los resultados que obtendrán antes de llevar a cabo una acción concreta,

- *Planificar.* Los estudiantes deberían aprender a planificar un camino determinado para llegar a los objetivos que se proponen.
- *Autoevaluarse.* Los estudiantes tendrían que ser capaces de evaluar sus propios trabajos.
- *Coevaluarse*. Los estudiantes podrían también aprender a valorar mutuamente los trabajos realizados, especificando objetos y criterios para la tarea.

Una de las características de los estudiantes "exitosos", y de cualquier experto en una materia, es precisamente el dominio de la capacidad de ***anticipar la acción***. Los profesores y profesoras somos expertos en las disciplinas que enseñamos, pero usualmente olvidamos las dificultades que tuvimos al momento de aprenderlas. Ahora bien, si recordamos algún aprendizaje reciente, reconocemos que es fundamental poner en práctica esta capacidad anticipatoria.

La ***planificación de la acción*** es un "plan de trabajo" que evolucionará y se modificará bajo el control de los resultados de su desarrollo. Revela un conocimiento de los posibles procedimientos para llegar a los resultados, y el reconocimiento previo o la predicción de los efectos producidos por cada operación escogida. Planificar implica combinar tres elementos: el objetivo o la finalidad fijada, las operaciones o acciones que son estratégicas para llegar a ella y las condiciones internas de realización.

Para Izquierdo (2000), el ajuste entre estos vértices constituye la *racionalidad hipotética*, de adecuación medios-fines (Figura 2).

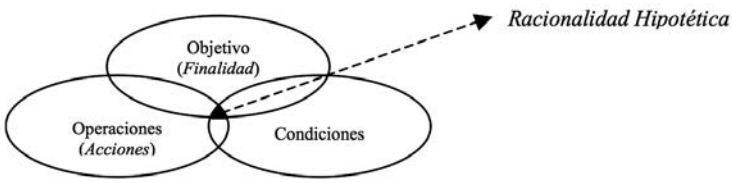


Figura 2. Planificar implica la combinación de estos tres elementos.

Que un estudiante sepa ***anticipar y planificar*** la tarea indica que es capaz de ***representarse*** mentalmente las acciones que tiene que hacer para llegar a tener éxito en la resolución de las tareas que se le proponen o en la aplicación de los conceptos y teorías aprendidas. Los estudiantes que responden a una consigna sin haber leído todas las informaciones necesarias para realizar la tarea propuesta o que empiezan a intervenir sin haber ideado un plan de trabajo demuestran una deficiencia en su capacidad para autorregular el proceso cognitivo emprendido.

Un estudiante que es novato en el laboratorio de química debería enfrentarse con las diversas tareas que se le proponen (construir una gráfica, calcular la densidad de un cuerpo, resolver un problema de estequiometría, identificar un elemento químico, determinar la concentración de una disolución, resumir un texto, etc.) con representaciones explícitas, discutidas y consensuadas de las acciones

que llevará adelante. Algunos de nuestros estudiantes aprenden a planificar las acciones sin la ayuda del profesorado, pero a la mayoría de ellos les es necesario *aprender a aprender*.

El experto no tiene estas mismas necesidades, puesto que ya tiene interiorizadas muchas de las acciones intermedias. Esto provoca que a menudo los profesores olvidemos esta dificultad de quienes aprenden y no propiciemos situaciones pedagógicas que conduzcan a la desagregación metacognitiva de los diversos procesos materiales, cognitivos y discursivos necesarios para completar las tareas que proponemos en nuestras clases. Ello provoca que los estudiantes que no son capaces de suplir estas carencias encuentren obstáculos considerables para alcanzar los objetivos didácticos comunicados o supuestos.

BASES DE ORIENTACIÓN: UN INSTRUMENTO MEDIADOR

Las bases de orientación (Nunziati, 1990) son sistemas de representación de la acción y de su producto, de las propiedades del material de partida y de sus transformaciones sucesivas, incluyendo todas las indicaciones que se utilizarán para ejecutar la acción. Las debe construir el alumno(a) a partir de un método general que le proporcionará el profesor (Jorba & Sanmartí, 1996). El estudiante ha de determinar:

- a qué categoría pertenece la acción propuesta, considerada a su vez como un caso particular de un conjunto.
- los conocimientos necesarios para realizar esta acción antes de utilizar las técnicas de resolución específicas de la clase de problemas identificada.

La Teoría de la Actividad del Aprendizaje, no pretendiendo llevar un análisis detallado y amplio (ver, para este propósito Talizina, 1988; Jorba y Sanmartí, 1996; Wertsch, 1981), sino presentar aquellos aspectos que puedan ayudar a entender algunas características de las propuestas didácticas expuestas nos permite una especial atención a aquéllas relacionadas con los procesos de formación de los conceptos y de los procedimientos y de nacimiento de relaciones entre ellos.

Esta teoría se basa en los trabajos realizados por Vygotski y Leontiev y tiene como núcleo fundamental la Teoría de formación por Etapas de las Acciones Mentales de Gasperin. Afirma Gabay (1991), que la Teoría de la Actividad considera que la enseñanza y la educación son tipos organizados de la actividad conjunta entre los que aprenden y los que enseñan, pero que en esta actividad el aprendizaje es el principal componente, ya que los alumnos adquieren de manera gradual las experiencias de generaciones anteriores.

Esta teoría analiza detalladamente la actividad de aprendizaje y señala las acciones como la principal unidad de dicha de actividad humana. Considera que el aprendizaje de los conocimientos, contemplados como representaciones de los objetos, fenómenos, acciones, etc., de mundo material, sólo se produce a través del aprendizaje de las actividades adecuadas a ellos.

Cómo elaborar una Base de orientación

Para elaborar una base de orientación, tal como lo indican Jorba y Sanmartí (1996) y García y Sanmarti (1998) será necesario:

- Fijar el objetivo que se pretende alcanzar con la tarea propuesta, lo cual implica la determinación de la categoría de problemas a la que pertenece la situación planteada. Por ejemplo si se trata de la redacción de un informe de laboratorio, de la definición de un concepto, etc. La determinación del tipo de problema permite representarse el producto final esperado, el tipo de acción o acciones y el conjunto de operaciones que deben realizarse para llegar al producto. Todo ello facilita la elaboración de una respuesta de acción y del producto final.
- Determinar los conocimientos necesarios para alcanzar el objetivo fijado, prever los resultados de cada una de las operaciones a realizar, establecer las modificaciones que deberán efectuarse en los procedimientos generales para adecuarlos a la situación concreta planteada.
- Analizar las condiciones de realización a fin de precisar los conocimientos que se deberán activar y adecuar para resolver el caso concreto propuesto como un particular de una categoría general de situaciones.

Diseño de una Base de Orientación

Para elaborarla se puede seguir un método general (Sanmartí y Jorba, 1998) que es posible concretar de diversas maneras; una manera útil y eficaz es formularse preguntas sobre tres aspectos :

- Referente a los elementos estructurales de la acción:

- ¿A qué categoría pertenece la situación planteada? (identificación del problema).
- ¿Por qué se debe realizar esta tarea? (Motivo de la tarea).
- ¿Qué se quiere conseguir con la realización de la acción y por que? (operaciones de acción)
- ¿Qué operaciones son necesarias realizar para ejecutar la acción y por qué? (operaciones de acción).
- ¿Qué conocimientos son necesarios para efectuar de manera consciente estas operaciones? (contenido de la base de orientación).
- ¿En qué condiciones tenemos que realizar la tarea planteada? (condiciones de realización).

- Respecto a la anticipación de la acción:

- ¿Qué estrategia (as) se pueden adoptar para resolver la situación planteada (posibles estrategias y orden de ejecución de las operaciones de cada estrategia).
- ¿Cuál es el resultado esperado de las operaciones proyectadas?

- Con relación a la planificación de la acción:

- ¿Cuál de las estrategias parece la más adecuada? (elección de la estrategia)

- ¿Cuál es el plan de ejecución que seguiremos? (plan de trabajo)

En la Figura 3 se presenta una propuesta de base siguiendo las instrucciones anteriores:

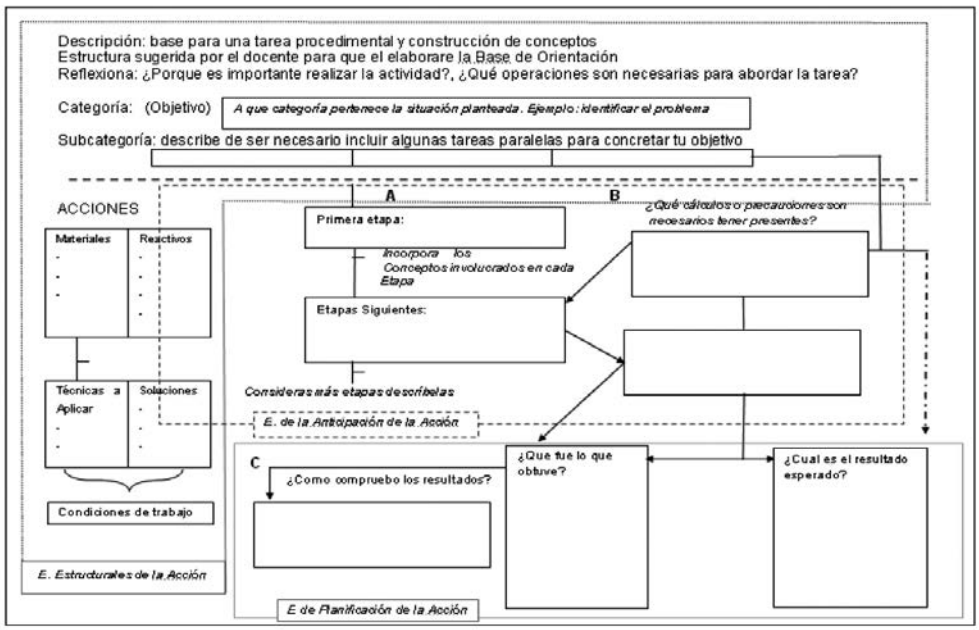


Figura 3. Guía para orientar construcción de base de orientación.

Y en las Figuras 4 y 5 ejemplos de bases elaboradas por estudiantes en el laboratorio de química general.



Figura 4. Ejemplo 1 de base de orientación elaborada por estudiantes en el laboratorio.

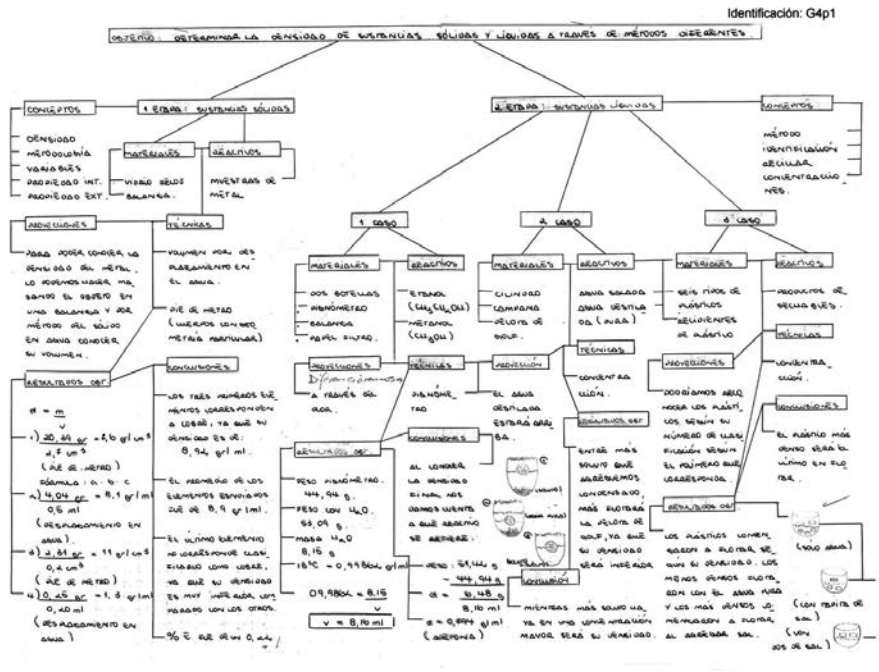


Figura 5. Ejemplo 2 de base de orientación elaborada por estudiantes en el laboratorio.

REFLEXIONES FINALES

Al día de hoy continuamos trabajando con la Base de Orientación a nivel universitario en búsqueda de más elementos para su estudio. Postulamos que los resultados han sido limitados por la separación entre los aspectos teóricos y experimentales de los temas trabajados; el profesor del módulo teórico debería involucrarse en el trabajo experimental y la guía del laboratorio debiera proporcionar una visión más amplia de ciencia. Por otra parte el estudiante no se enriquecerá por el trabajo del laboratorio si no se pregunta por los obstáculos *epistemológicos* de la disciplina que surge en el laboratorio con lo cual el trabajo se continuará realizando de manera tradicional (mecánico) y memorizando algunos 'hechos de la ciencia'. Podrían mediarse los errores a través de una lectura comprensiva de las instrucciones (del instrumento diseñado).

Actualmente continuamos trabajando en mejorar la plantilla que orienta la construcción de la base y diseñando una propuesta de manera que la base sea el instrumento que medie en la construcción de respuestas y de modelos organizadores de la actividad del laboratorio.

Adicionalmente al revisar las producciones de los estudiantes, se identifica una relación *de la calidad con el formato* que nos parece de un interés futuro seguir profundizando. En efecto, los estudiantes que trabajan de forma horizontal pueden situar más fácilmente los elementos que componen la base de orientación, a diferencia de los que trabajan verticalmente, que insertan los hechos a modo de "rompecabezas", en forma bastante desarticulada. Bajo la forma de trabajo vertical, los estudiantes cometen errores de comprensión de las instrucciones, lo que podría mediarse realizando un trabajo previo de lectura, selección y reformulación de las instrucciones.

Una dificultad que se percibe en ambos formatos es la presencia de errores en los procesos adoptados para alcanzar los objetivos que guían la actividad. Aparece una diversidad de procedimientos "espontáneos" distanciados de la estrategia 'epítome' (ejemplar) esperada, que debería anclarse en el modelo teórico. Una posible mediación sería trabajar sobre las diferentes propuestas para favorecer la evolución individual. Las principales tendencias observadas son que los estudiantes manipulan los datos y usan fórmulas y ecuaciones matemáticas en sus respuestas, pero de manera bastante convencional y sin dar razón ni evidenciar el sentido de su uso. Una posible explicación para estas tendencias es que los estudiantes solo se preocupan de planificar y anticipar los procedimientos *operacionales* a realizar para concretar la tarea y consideran que allí termina la consigna, pero olvidan el trabajo conceptual que hay detrás para dar significado a la actividad a partir del modelo y del lenguaje. Además aseveramos que dependiendo del contenido de la práctica, se obtienen diferentes resultados.

También la inclusión de las bases en la actividad experimental optimiza el tiempo de acción de los estudiantes, ya que manejan un cierto grado de información sobre las actividades que se desarrollarán. En su defecto esto no implica agregar más actividades a la sesión y saturar de actividades al estudiante. De ser así, sería un paso atrás y volveríamos a desencadenar las problemáticas ya conocidas que se describen al inicio de este capítulo.

En conjunto, los estudiantes han trabajado sus bases en formatos personales que relacionan con

diferencias aspectos procedimentales y teóricos. De acuerdo con esto se ha podido identificar una variedad de modelos en las bases y se han relacionado muchos de ellos con un aprendizaje conceptual deficiente (inerte, poco autorregulado) desde el punto de vista del currículo prescrito en la asignatura.

Desde nuestro punto de vista se puede hablar de automatización y ejecución inconsciente de los procedimientos, pero no de las estrategias. En este sentido nos parece útil la distinción que hace Monereo (2002) entre los aprendizajes de procedimientos a través de ejercicios reiterativos de las prácticas que se realizan bajo un control y supervisión, tratando de analizar qué se ha hecho en determinadas circunstancias. Por tanto, creemos que es primordial la participación del ayudante de laboratorio que realice esta tarea, puesto que:

- El primer caso favorece una automatización rápida de procedimientos (acertados o equívocos).
- El segundo, con un recorrido más lento, promueve la utilización intencionada de procedimientos y la adaptación a situaciones diversas, en definitiva, se priorizan estrategias de aprendizaje. (aprender a aprender).

El segundo punto generaría una situación álgida en la discusión, lo que implicaría desde el punto de vista del diseño curricular de la disciplina disminuir el volumen de contenido que se aborda en la sesión de laboratorio y optar por campos estructurantes más acotados y trabajados en profundidad. Optar por esta vía implicaría disponer de ayudantes capacitados en las sesiones experimentales que prioricen la reflexión sobre lo que se piensa, hace y comunica en química.

La inclusión de las bases de orientación para generar espacios de reflexión en torno a la actividad experimental en química a nivel universitario nos ha permitido identificar perfiles. La utilidad práctica de esto es que actualmente nos permite continuar nuestro trabajo ahora en torno al diseño de actividades diferenciadas para el estilo de aprendizaje y "maneras de hacer" en el laboratorio.

Bibliografía

Arellano, M. y Merino, C. (2005). Uso de las Bases de Orientación para el trabajo en laboratorio. *VII Congreso Internacional de Didáctica de las Ciencias*, Granada.

Driver, R. (1988). Hacia un enfoque constructivista de las ciencias. Enseñanza de las Ciencias, 6, 109-120.

Gabay, T. (1991). The activity theory of learning and mathematic education in the URSS. *Fifteenth PEM conference*, II. Assisi.

García, P. y Sanmartí, N. (1998). Las bases de orientación: un instrumento para enseñar a pensar teóricamente en biología. *Alambique,* 16, pp. 8-20.

García, P. y Sanmartí, N. (1998). "Las bases de orientación: un instrumento para enseñar a pensar teóricamente en biología". Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales. Nº 16, pp. 8-20.

Gil, D. (1991). ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencia? Enseñanza de las Ciencias, 9(1), 69-77.

Gil, D., y Valdés, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. Enseñanza de las Ciencias, 14, 155-163.

Hodson, D. (1996). Practical work in school science: exploring some directions for change. *Int. J. Sci. Educ.*, 18(7), 755-760.

Hoftein, A. y Lunetta (2004). The laboratory in science education: Foundation for twenty-first century. *Sci Ed.* 88: 28-54.

Izquierdo, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En Perales, J., & Cañal, P. (Eds.), *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias,* (pp. 35-64). Alcoy: Marfil.

Izquierdo, M., Sanmartí, N., & Espinet, M. (1999b). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. Enseñanza de las Ciencias, 17, 45-59.

Jorba, J. y Sanmartí, N. (1996). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua. Propuestas didácticas para las áreas de ciencias de la naturaleza y matemáticas.* Madrid: MEC.

Merino, C. (2004). *Las bases de orientación en la enseñanza en el laboratorio, una alternativa para la reflexión y aprendizaje de calidad*. Tesis no publicada para optar al titulo de Profesor de Química y Ciencias Naturales. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Merino, C. (2005). The'orientation bases' for educational work in the chemistry laboratory. *Fifth International ESERA Conference on Contribution of Research to Enhancing Students' Interest in Learning Science*, pp.571-575. Barcelona: Cresil.

Monereo,C. (2002). *Estrategias de aprendizaje.* Madrid: Machado Libros.

Nunziati, G. (1990). Pour construire un dispositif d'évaluation formatrice. Cahiers pédagogiques, 280, 47-64.

Pea, R. (2001). Prácticas de inteligencia distribuida y diseños para la educación. En Salomon, G. (Ed.), *Cogniciones distribuidas: consideraciones psicológicas y educativas* (pp. 75-125). Buenos Aires: Amorrourtu.

Perrenoud, P. (1991). Pour une appoche pragmatique de l'évaluation formative. *Mesure et évaluation en éducation*, 13(4), 49-81.

Quintanilla, M. (2003). Hablar y escribir la didáctica hoy: del modelo ingenuo al modelo crítico productor de conocimiento. *Revista REXE*, 3, 69-82. Concepción.

Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria.* Madrid: Síntesis.

Séré, M. (2002). La Enseñanza en el laboratorio: ¿qué podemos aprender en términos de conocimiento práctico y de actitudes hacia la ciencia? Enseñanza de las Ciencias, 20(3), 357-368.

Talizina, N. (1988). *Psicología de la enseñanza*. Moscú: Progreso.

Wertsch, J. (1981). *Culture, communication and cognition: Vygotskian perspectives.* Cambridge: Cambridge Press University.

Capítulo 9

LA EXPLICACIÓN CIENTÍFICA ESCOLAR. UN ANÁLISIS DESDE LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE DE LA TEORÍA ELECTROQUÍMICA

Johanna Camacho González
Universidad de Chile, Faculta de Filosofia y Humanidades,
Departamento de Estudios Pedagógicos, Chile, jpcamacho@uchile.cl

Actualmente Chile atraviesa por un momento interesante para la Educación Científica, el cual se caracteriza entre otras aspectos, por el aumento en la cobertura educativa (Guerrero et al., 2006); las distintas modificaciones realizadas al currículo nacional (MINEDUC, 2009; 2012) y las variaciones positivas en los resultados de Pruebas Nacionales (SIMCE, 2011) e Internacionales (OCDE, 2006; 2010). Este panorama ha permitido repensar los propósitos de la Educación Científica chilena y desde allí plantear diferentes estrategias para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias en el contexto escolar. Desde esta perspectiva y como un aporte para el mejoramiento de la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, en particular la química escolar, la propuesta que se presenta a continuación, se focaliza en una experiencia que toma como eje principal la promoción de la explicación científica en la clase de química y se presentan algunos resultados al respecto.

En particular se refiere a la promoción de la explicación científica escolar o explicación didáctica, en términos que señalan Eder y Adúriz-Bravo (2008). Es decir, una explicación que acerca al estudiantado al conocimiento, aquella que procura mostrar los por qué, y/o cómo se producen los fenómenos científicos. No se hace referencia, a la explicación vinculada a procesos comunicativos como transmisión o enunciación de los contenidos científicos, sino que corresponde a una dimensión cognitiva y epistémica, como se describirá más adelante.

Se hace principal énfasis en este aspecto, ya que se evidencia, según los resultados en las últimas pruebas PISA (OCDE, 2006; 2010), que *explicar fenómenos científicamente* es una de las competencias científicas en las cuales se presentan mayores dificultades para las/los jóvenes de Chile. Además, que según el análisis realizado por Gubler y Williamson (2009), se reporta que existen diferencias significativa entre las explicaciones, según el género a favor de los estudiantes varones.

LA EXPLICACIÓN CIENTÍFICA EN EL CONTEXTO ERUDITO Y ESCOLAR

La idea de la *explicación científica* ha sido una preocupación teórica importante durante la Historia y Filosofía de la Ciencia (Rosenberg 2000; Eder y Adúriz-Bravo, 2008), esta explicación también es denominada *explicación científica erudita.* Según Eder y Adúriz-Bravo (2008), a través de la historia

Merino, C., Arellano, M., Adúriz-Bravo, A (Eds.) *Avances en didáctica de la química: modelos y lenguaje.*
© 2014. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Impreso en Valparaíso, Chile.

de la ciencia se han evidenciado diferentes modelos de explicación científica *erudita* los cuales han evolucionado y se han complejizado. Estos autores señalan los siguientes modelos:

- *Modelo nomológico-deductivo de la concepción heredada a la Hempel*, en donde la explicación se formaliza como un razonamiento deductivo entre cuyas premisas esenciales tienen forma de lo científico.

- *Modelo nomológico deductivo* con variantes, en donde existe:

- explicación hipotética-deductiva, cuyo propósito consiste en verificar las premisas-leyes;
- explicación potencial, donde aparecen datos "problemáticos";
- explicación causal, se asumen los hechos como efectos de ciertas causas.

- *Modelo probabilístico-inductivo de la concepción heredad a la Carnap*, acude al uso de leyes estadísticas y nociones probabilísticas para "dar sentido", en ese sentido estas explicaciones se conocen también como *explicaciones estadísticas.*

- *Modelos de explicación de leyes:*

- explicación conceptual, la explicación de un hecho situado en un contexto más amplio;
- explicación genética, indica cuál es el proceso, el conjunto de sucesos;
- explicación teológica y funcional, se asumen los hechos que ocurren en el presente en virtud de algo que ocurrirá;
- explicación por comprensión o significación, vinculada a una problemática más amplia, relacionado con la discusión entre las metodologías de las ciencias sociales y naturales.

- *Modelo pragmático-ilocutivo de la nueva filosofía*, está relacionado con las características y significados que toma en cuenta el lenguaje en función de su uso (enfoque semántico).

Desde el campo de la Didáctica de las Ciencias, han surgido investigaciones en los últimos años que buscan profundizar al respecto a la explicación en las aulas de ciencias, a fin de comprender cómo intervienen (junto con la argumentación y justificación) en la metodología científica, la teoría de la elección, cambiar la teoría, y la comunicación de la ciencia (Izquierdo & Adúriz- Bravo, 2009). Estas explicaciones han recibido el nombre de *explicaciones para la enseñanza* (relacionadas con la instrucción docente) o *explicaciones científicas escolares* (Izquierdo & Adúriz- Bravo, 2009).

La actividad de explicar en el contexto escolar, según Sanmartí e Izquierdo (1998) es una básica y fundamental ya que *"lo que nos interesa es la comprensión en el establecimiento de relaciones, la negociación de significado en el aula"*(Sanmartí e Izquierdo, 1998:158). Wartofsky (citado en Sanmartí e Izquierdo, 1998) señaló que *"explicar algo es haber llegado a entenderlo de tal manera que uno sea capaz de hacer que otro lo entienda".*

En este sentido Welsh (2002) afirma la importancia de hacer hincapié en la estructura de las explicaciones científicas escolares, particularmente en la enseñanza de la química, en vista que esta ciencia se ha construido a través de explicaciones científicas que por lo general ayudan al estudiantado a comprender mejor lo que aprenden. Él propone que muchas explicaciones correlacionan diferentes partes, estructura a la que ha denominado *FaCTs* (Hechos) donde la "F" significa "forma"; "C", su composición, y "T" la teoría. Entonces, *"una explicación científica tiene cuatro partes de acuerdo a los FacTs que se pretenden establecer. Cuando una "teoría" (Parte 1) correspondiente a la química es aplicada a la "composición" (Parte 2) y "forma"(Parte 3) de uno o más átomos de interés, entonces las conclusiones o deducciones resultantes de la aplicación de lo que la teoría debe ser coherente con los "hechos" (Parte 4) observados"* (Welsh, 2002:94).

Esto puede suponer, que es importante considerar la estructura y secuencia en la que se presentan las explicaciones en el aula, que según Eder y Adúriz-Bravo (2008), pueden pensarse diferentes lógicas para abordar dichas secuencias (desde la lógica deductiva, inductiva, abductiva, narrativa, entre otras), pero lo importante es tener claro que existe un "orden" que puede facilitar la comprensión o no.

¿Qué entendemos por Explicación Científica Escolar?

Actualmente, existen diferencias entre identificar la explicación científica escolar como una habilidad cognitivo lingüística indispensable para *hablar y escribir, para aprender ciencias* y, como una *capacidad relacionada con Competencias Científicas.*

Con respecto a la explicación como habilidad cognitivo lingüística, Jorba (1998) propone que esta consiste en *"producir razones o argumentos de manera ordenada. Establecer relaciones entre las razones y argumentos que lleven a modificar un estado de conocimiento"* (p. 43).

Además, Sanmartí e Izquierdo (1998) precisan otros atributos necesarios para la construcción de una explicación científica, que son:

- Estructurar el texto de una manera expositiva, con un inicio, un desarrollo y una conclusión.
- Desarrollar una situación inicial mostrando los hechos nuevos que después permiten llegar a una conclusión.
- Relacionar los hechos nuevos y los conocidos de manera fácil de aceptar, porque se ha aplicado a situaciones analógicas; la novedad está en las informaciones concretas que se ofrecen o en las conexiones entre estas informaciones, pero no en los dos aspectos a la vez. En general estas relaciones son causa-efecto.
- Seleccionar hechos relevantes e interesantes; el alumnado puede ser muy creativo al ofrecer una explicación y elaborar textos parecidos a los literarios.
- Situar toda la explicación en un contexto temático bien caracterizado.
- Ofrecer una nueva perspectiva que permite hacer inferencias, siempre a nivel factual de "cosas que pueden pasar o no pueden pasar".

Como competencia científica, la explicación ha llamado la atención de la OCDE, como una capacidad importante de desarrollar en la educación científica, así esta ha sido *"aplicar el conocimiento de la ciencia a una situación determinada; describir o interpretar fenómenos científicamente y predecir cambio e identificar las descripciones, explicaciones y predicciones apropiadas"* (OCDE, 2006:30).

En general se observa que la explicación científica está asociada con la capacidad que tiene el estudiantado de construir relaciones teóricas coherentes sobre distintos fenómenos naturales y que este proceso implica proponer relaciones nuevas, elaborar conclusiones las cuales suponen modificaciones de un estado de conocimiento.

No obstante, en el desarrollo de la competencia también se contempla la complejidad de estos procesos dentro del pensamiento de la persona que construye su competencia y cómo esta toma decisiones sobre lo que debe saber hacer, saber conocer, saber comunicar y saber ser. Así la "*Persona competente debería ser capaz además de representar el mundo en el que convive con teoría científica, tomar decisiones que le permitan intervenir y transformarlo de manera autónoma, autorregulada, creativa e independiente, según sus necesidades y motivos, sus objetivos y acciones, los medios y operaciones que utiliza para enfrentarse a una situación problemática"* (Camacho, 2010:80).

De esta manera, según Camacho (2010) la explicación científica escolar se puede caracterizar como una Competencia Científica (Figura 1), esencial para la actividad química escolar, ya que la persona competente construye y reconstruye sus explicaciones a través de procesos de modelización que demuestran la comprensión conceptual que tiene de un fenómeno a través de la teoría científica. Para esto desarrollará diferentes procesos relacionados con sus conocimientos, el contexto, su ser y su actuar. Esta visión de la explicación científica sugiere además, como un aspecto relevante el rol significativo y personal, metacognitivos, afectivos y emocionales, que le otorgue la persona durante la construcción de su competencia.

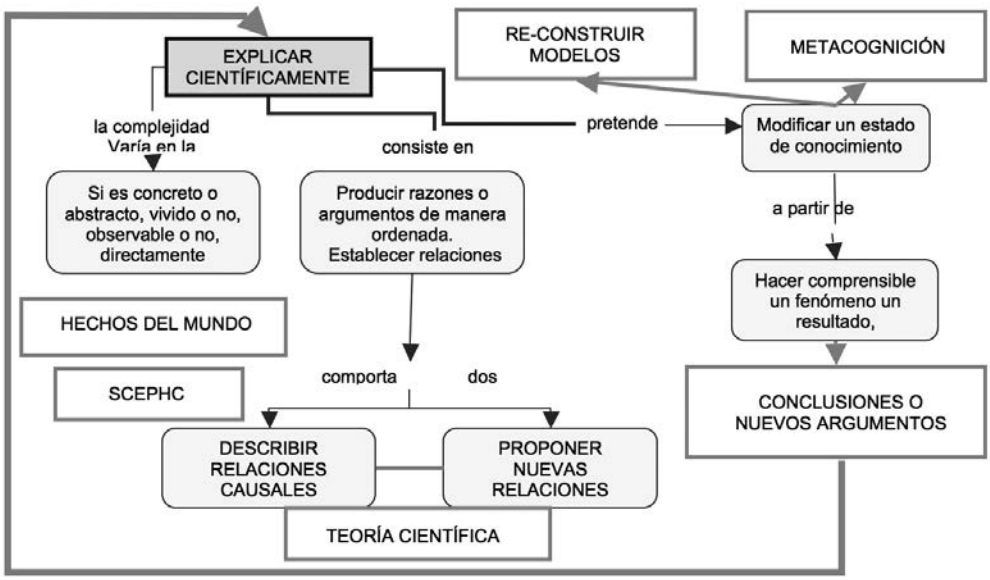


Figura 1. La explicación científica escolar como Competencia Científica. Modificado de Jorba, 1998:43.

LA TEORÍA ELECTROQUÍMICA EN LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA QUÍMICA ESCOLAR

Tradicionalmente la enseñanza de la teoría electroquímica en el contexto escolar (aulas y libros de texto) según De Jong & Treagust (2002) ha estado dividido en los procesos de óxido reducción y las pilas electroquímicas o celdas galvánicas.

En la investigación realizada por De Jong & Treagust (2002), se señalan algunas dificultades con respecto a las reacciones de óxido reducción, en particular en los ámbitos conceptuales entorno a la dependencia mutua de las reacciones de óxido reducción, el significado del número de oxidación, el proceso de transferencia de electrones, la carga del ánodo y el cátodo en las pilas electroquímica; así como en procedimentales, en relación a la identificación de reactantes como agentes oxidantes o reductores, de ecuaciones químicas en términos de óxido reducción. En cuanto a las dificultades relacionadas con las pilas electroquímicas desde una perspectiva procedimental, proponen la dificultad de predecir los productos y la magnitud de diferentes potenciales en las celdas galvánicas, y desde lo conceptual, se señalan los obstáculos que existen para comprender la conducción de la electricidad, la neutralidad eléctrica en la electricidad, identificar el ánodo y cátodo en una pila y sus respectivas cargas.

La enseñanza y aprendizaje de la electroquímica, en general se ha caracterizado como una de las temáticas más difíciles de enseñar y aprender en la química escolar (Davies, 1991; Griffths, 1994: De Jong, Acampo & Verdonk, 1995; Níaz & Chancón, 2003; Özkaya, 2002) y en donde existe poca evidencia empírica, comparada con otras temáticas químicas, que relacionen las dificultades de aprendizaje

del estudiantado, señalen los principales obstáculos en la enseñanza y presente nuevas propuestas de innovación en el aula.

Esta complejidad, según De Jong, Acampo & Verdonk (1995) y De Jong & Treagust (2002), radica en la propia evolución de los diferentes conceptos científicos y las prácticas experimentales asociadas, provenientes de diferentes áreas científicas como la fisiología, física, la química y la matemática. Como afirma Izquierdo (2004), "las ciencias son el resultado de una actividad humana muy compleja sustentada como cualquier otra actividad humana en pluralidad de sistemas de valores; nunca fueron ni son ahora neutras" (p. 116) y desde esta perspectiva se acude a la historia de la teoría electroquímica durante la primera mitad del siglo XIX, de tal manera de problematizar su enseñanza-aprendizaje.

Metodología y contexto de la Investigación

La pregunta que oriento el estudio fue ¿cómo se construyen las explicaciones científicas escolares? ¿Existen secuencias? La investigación propuesta, se desarrolló en el marco de un estudio de caso colectivo longitudinal. Este diseño metodológico se consideró por el interés de casos particulares (2 docentes de química expertos que participan en un curso de Historia de la Ciencia y formación docente), además por la necesidad de considerar una heurística transparadigmática y transdisciplinar (VanWynsberghe y Khan, 2007), que involucra un cuidadoso delineamiento del fenómeno mediante la evidencia recolectada.

La investigación se realizó en un contexto de *modelo de intervención*, cuya finalidad es transformar la práctica, según Mellado (2001), para ello fue necesario como requisito una cierta insatisfacción y conflicto por parte de los participantes y el levantamiento de problemas propios específicos del aula, en donde se promovían procesos de reflexión epistemológica en relación a sus saberes y su práctica, favoreciendo la autorregulación de sus concepciones y la mejora de su práctica.

Los modelos de intervención, se caracterizan por ser desarrollados en la institución del docente y por ello, se optó por un estudio que conllevará la reflexión de la práctica pedagógica. Desde este punto de vista, la investigación se realizó promoviendo el consenso profesional y diseño de una unidad didáctica para la enseñanza de la electroquímica en 3ro medio (15 -17 años).

A partir de estos antecedentes y con el propósito de promover la explicación científica escolar, se propuso la siguiente secuencia de actividades (Tabla Resumen 1) enmarcadas en el Ciclo de Aprendizaje (Sanmartí, 2000). Esta actividad fue colectiva con el profesorado participante y publicada en Camacho, Zanocco, Miranda, Astudillo & Frías (2010).

Tabla 1. Resumen de la Secuencia de Actividades de la Unidad Didáctica para la enseñanza-aprendizaje de la teoría electroquímica en el contexto escolar.

Fases	Actividad	Objetivo	Descripción
Exploración de ideas previas	Sobre la acción química de la electricidad[1]	Identificar las ideas previas de los y las estudiantes sobre la relación entre electricidad y cambio químico.	Lectura de la Conversación sobre los agentes químicos de J. Marcet (1853), para incorporar la discusión sobre cómo se produce la electricidad y sobre cuál es el rol de las mujeres en el conocimiento científico (Solsona, 2007).
Introducción de nuevos conceptos	Debate Berzelius Vs Davy	Explicar cómo se produce una reacción química que origina electricidad y cómo ocurre el proceso de obtención de nuevas sustancias, a partir de la electricidad.	Debate entre dos grupos, quienes defendían una posición y posteriormente, creaban consensos, a fin de comprender cómo se construye la ciencia como actividad humana de consensos y disputas.
Sistematización y Conclusiones	¿Qué competencias hemos desarrolado?	Identificar y caracterizar las competencias científicas trabajadas y hacer una revisión conceptual de los principales aportes acerca de la teoría electroquímica.	Evaluación de las producciones de los estudiantes a fin de autorregular sus aprendizajes científicos. Construcción de una línea de tiempo con el fin de evidenciar que el conocimiento científico evoluciona y es complejo, pues depende de muchos factores internos y externos.
Aplicación	Construcción de la Pila de Daniell	Las y los estudiantes explicarán el funcionamiento de la Pila de Daniel y sobre el uso de los diferentes tipos de pilas.	Valor de la réplica de los experimentos en la enseñanza con el fin de comprender las reacciones redox en las pilas y conocer el sentido de la experimentación en la Historia de la Electroquímica (Grapí, 2006).

En esta unidad didáctica se hizo explícito el interés por promover y desarrollar la explicación científica, así, cada una de las actividades propuestas estuvo orientada a construir explicaciones sobre

[1] Fragmento Adaptado de Marcet, J. (1853). Conversations on chemistry in wich the elements of that science are familiarly explained and illustrated by experiments. Vol. 1 On simple bodies. London: Longman, Brown, Green & Longmans.

la relación entre cambio químico-electricidad; igualmente, las estrategias desarrolladas con el estudiantado consideró la lectura de fuentes primarias, la construcción de debates históricos, la elaboración de esquemas conceptuales enmarcadas en un contexto histórico y la réplica de experimentos. En el diseño de la unidad didáctica se hizo énfasis en 3 aspectos fundamentales: a) la construcción de conocimiento científico por parte de hombres y mujeres, enfatizando el aporte y trabajo de las mujeres en la actividad química; b) la construcción y diseño de instrumentos científicos y su valor en el desarrollo de la teoría electroquímica, particularmente acerca de la Pila de Volta y de Daniell y c) la divulgación de textos científicos, particularmente *Conversations on Chemistry* (Marcet, 1853).

Discusión de algunos resultados

Los resultados que se presentan a continuación permiten evidenciar que para construir explicaciones científicas escolares existen secuencias de carácter inductivo, cuyo orden no necesariamente corresponde al mismo ordenamiento, sino que más bien tienen relación con los diferentes estilos cognitivos del estudiantado.

Se aprecia que el profesorado de química toma como punto de partida *la definición de algunos conceptos preliminares* como por ejemplo cambio químico, electricidad, iones, cátodo, ánodo, sustancias electronegativas y electropositivas, polaridad, entre otros, generalmente esto ocurre en el inicio de la secuencia didáctica, particularmente en las actividades de exploración de ideas previas. Desde este punto de vista, entonces las explicaciones científicas escolares iniciales en una secuencia de enseñanza-aprendizaje, son definiciones orientada a señalar qué son los fenómenos.

Posteriormente, los docentes proponen establecer relaciones entre dichos conceptos como por ejemplo entre cargas eléctricas, iones, polarización en relación a las reacciones químicas, las cuales permitían abordar la problemática planteadas acerca cómo se relaciona el cambio químico con la electricidad. En algunos casos, las explicaciones científicas escolares, son descripciones orientadas a comprender cómo se relacionan los fenómenos y según la evidencia encontrada, este es un aspecto fuertemente abordado en la química escolar, en donde hay mayor profundidad y énfasis en otorgar atributos o características a los conceptos nuevos que fueran coherentes con la teoría electroquímica y promover algunas relaciones entre los conceptos previos y los que se introducen, los cuales propone nuevamente definir o describir.

De esta manera la explicación científica consiste sólo en la descripción de conceptos, desde la teoría electroquímica y el establecimiento de algunas nuevas relaciones, las cuales incitan nuevamente a la descripción de los fenómenos relacionados con el cambio químico y la electricidad. Así, se aprecia que existe una secuencia inicial para construir la explicación científica escolar (- definición - descripción - explicación - descripción - definición -) (Figura 2), según señalan Sanmartí e Izquierdo (1998); Welsh (2002) y Jorba (1998).

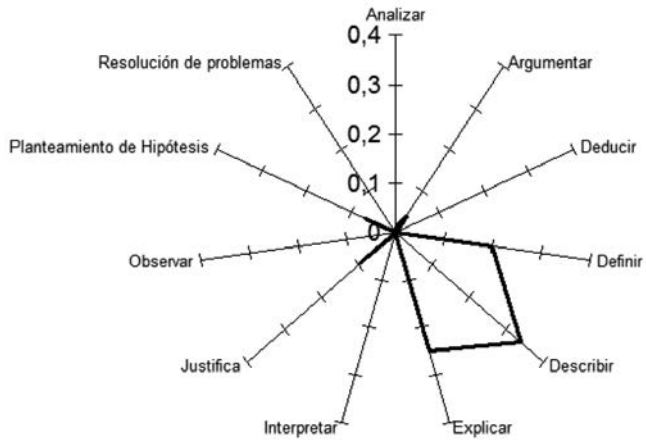


Figura 2. Primera secuencia para la construcción de la explicación científica. No obstante, se aprecia además que en el proceso de construcción de explicaciones científicas escolares también se introducen otros elementos problemáticos, como la descripción de fenómenos y como la pila de Volta, tratando de orientar la relación entre los conceptos hacia la selección de información, la evaluación de dicha información, de tal manera de promover la elaboración de conclusiones, las cuales son factibles de ser evaluadas.

Así el proceso para la construcción de explicaciones científicas escolares, corresponde a un proceso más complejo en donde además de las descripciones es necesario la elaboración de razones o argumentos que podían ser enriquecidas por diversos aspectos teóricos o procedimentales de la teoría electroquímica. Según lo que señalan Chamizo e Izquierdo (200), estas características permiten dar mayor consistencia a conclusiones elaboradas. En este caso la secuencia para construir la explicación científica entonces es: - definición - descripción - explicación - argumentación - (Figura 3).

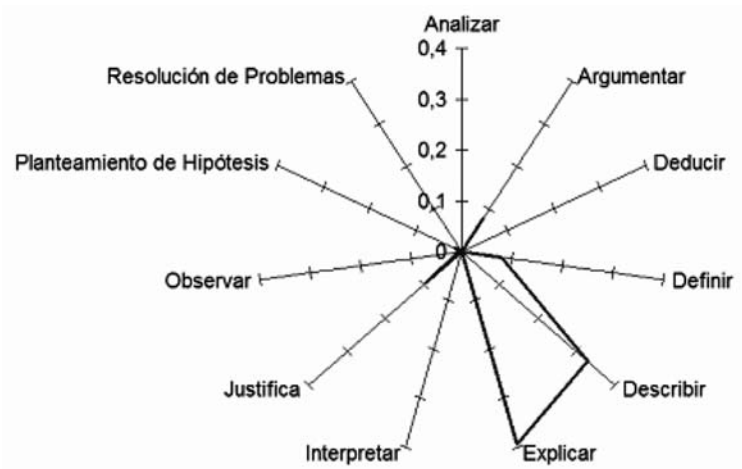


Figura 3. Segunda secuencia para la construcción de la explicación científica.

REFLEXIONES FINALES Y CONCLUSIONES

A través de esta experiencia, es posible coincidir con lo propuesto por Ogborn et al. (1998, citado en Eder y Adúriz-Bravo, 2008) en donde se señala que la explicación científica escolar no trata de una explicación sobre los fenómenos en sí, sino más bien en la manera en qué el profesorado otorga estrategias didácticas que necesita el estudiantado para poder construir dichas explicaciones. Eder y Adúriz-Bravo (2008), señalan además que la explicación en la enseñanza de las ciencias, en este caso de la química, tiene como objeto proveer herramientas para que las/los estudiantes construyan sus propias explicaciones "*que a su vez posibilitarán el acceso, más adelante, a las explicaciones típicas de la ciencia"* (p. 123).

De esta manera, se evidencia que existen instancias didácticas importantes en la construcción de explicación científica escolar. En este caso, la actividad de aplicación, que consistió en la construcción de la Pila de Daniell, demostró una gran oportunidad de poner en juego el tipo de conclusiones construidas y así dar mayor robustez a la explicación científica del fenómeno de la acción química de la electricidad, esta oportunidad además, sugirió la construcción de nuevas conclusiones que permitieron proponer argumentos nuevos sobre lo que podría ocurrir o no. Así, se señala que las actividades experimentales y de aplicación son muy relevantes en la construcción de la explicación científica escolar y que además favorece la relación entre los contenidos conceptuales como reacciones de óxido reducción, transferencia electrónica carga en el ánodo y el cátodo, como los aspectos procedimentales de la teoría electroquímica, predecir productos y magnitudes en una reacción de oxido reducción.

Además, se puede señalar que existen otro tipo de actividades que pueden resultar más "potenciales" y estas son las que están orientadas a la metacognición y autorregulación, en donde se promueven que el estudiantado sea capaz de construir conclusiones y evaluarlas en el marco de la teoría científica. Dicho aspecto permitió la autorregulación del estudiantado y la orientación hacia la construcción de la explicación, así como conocer explícitamente y evaluar qué es la explicación como competencia de pensamiento científico.

Por último, es importante mencionar el valor que tiene la historia de la ciencia, para poder identificar cuáles son las estrategias más apropiadas para promover el desarrollo de las explicaciones científicas escolares en el aula, de igual manera a cómo se ha realizado en la evolución del concepto científico a enseñar. La incorporación de fuentes tomadas desde la historia de la electroquímica, contribuyeron positivamente a la promoción de explicaciones.

Bibliografía

Camacho, J. *et al,* (2010). Teoría electroquímica en la educación media. Una propuesta didáctica fundamentada en la Historia de la Ciencia, en: Quintanilla, M.; Daza, S. y Merino, C. (Comp.), *Su contribución a las competencias de pensamiento científico. Volumen III.* Santiago de Chile.

Camacho, J.; Zanocco, G.; Miranda, O.; Astudillo, C. y Frías, A. (2010). Teoría electroquímica en la educación media. Una propuesta didáctica fundamentada en la Historia de la Ciencia, en:

Quintanilla, M. (Ed.), *Unidades didácticas en ciencias naturales y matemáticas para promover estudiantado competente en la escuela del siglo XXI. Volumen IV.* (pp.139-157). Santiago de Chile.

Chamizo, J. A. e Izquierdo, M. (2007). Evaluación de las Competencias de Pensamiento Científico. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales.* 51, 9 – 19.

Davies, A. J. (1991). A model approach to teaching redox. *Education in Chemistry,* 28, 135-137.

De Jong, O. y Treagust. D. (2002). The teaching and learnig of electrochemical. In Gilbert et al. (eds), *Chemical Education. Towards Research based practice.* (pp. 317-337). Netherlands: Kluwer Academia Publishers.

De Jong, O., Acampo, J., & Verdonk, A. (1995). Problems in teaching the Tepic of redox reactions: actions and conceptions of chemistry teachers. *Journal of Research in Science Teaching,* 32, 1097 – 1110.

Eder, M.L. y Adúriz-Bravo, A. (2008). La explicación en las ciencias naturales y en su enseñanza: Aproximaciones epistemológica y didáctica. *Revista Latinoamericana de estudios educativos,* 4 (2), 101-133.

Grapí, P. (2006). L'electrificació de la química al Segle XVIII. Una xarxa de guspires. Actes d'història de la ciència i de la tècnica Nova Època, Volum 1 (1) 65-74.

Griffths, A. K. (1994). A critical análisis and synthesis of research on students ´ chemistry misconceptions. In Schimidt (ed). *Problem solving and misconceptions in chemistry and physics* (pp. 70-99). Hong Kong:ICASE.

Gubler, J. y Williamson, A. (2009). Resultados de los estudiantes chilenos en la prueba PISA Ciencias 2006: una mirada a sus competencias. En Cariola et al. (Coords). *¿Qué nos dice PISA sobre la educación de los jóvenes en Chile? Nuevos análisis y perspectivas sobre los resultados en PISA 2006* (pp. 197-237). MINEDUC: Unidad de Curriculum y Evaluación.

Guerrero, E., Provoste, P. y Valdés, A. (2006). Acceso a la educación y socialización de Género en un contexto de reformas educativas. En *Equidad de Género y Reformas Educativas* (pp.99-150) Santiago, Chile: Hexagrama.

Izquierdo, M. y Adúriz- Bravo, A. (2009). A Research-Informed Instructional Unit to Teach the Nature of Science to Pre-Service Science Teachers. *Science & Education* 18, 2, 1177 – 1192.

Izquierdo, M. (2004). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: contextualizar y modelizar. *The Journal of the Argentin Chemical Society* Vol. 92 N° 4/6, 115 -136.

Jorba, J. (1998). La comunicació i les habilitats cognitivolingüístiques, en: Jorba, J. et al. (eds.). *Parlar i escriure per aprendre*. Barcelona: ICE-UAB.

Marcet, J. (1853). *Conversations on chemistry in wich the elements of that science are familiarly explained and illustrated by experiments. Vol. 1 On simple bodies*. London: Longman, Brown, Green & Longmans.

Mellado, V. (2001) ¿Por qué a los profesores de ciencias nos cuesta tanto cambiar nuestras concepciones y modelos? *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado* 40, 17-30.

MINEDUC (2009). Ajuste curricular en el sector de Ciencias Naturales. Santiago: Unidad de Currículo y Evaluación.

MINEDUC (2012). Bases Curriculares Ciencias Naturales Educación Básica. Santiago: Unidad de Currículo y Evaluación.

Níaz, M. y Chancón, E. (2003). A conceptual change teaching strategy to facilitate high school students´ understanding of electrochemistry. *Journal of Science Education and Techonology,* 12 (2) 129 – 134.

OCDE (2006). PISA 2006. *Marco de la evaluación. Conocimientos y habilidades en Ciencias, Matemáticas y Lectura.* París, Francia.

OCDE (2010). PISA 2009 Results: What Students Know and Can do. Student performance in reading, mathematics and Science. vol. 1, [en línea]. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1787/9789264091450-en [recuperado el 1 de Agosto de 2012].

Özkaya, A. (2002). Conceptual Difficulties Experienced by Prospective Teachers in Electrochemistry: Half-Cell Potential, Cell Potential, and Chemical and Electrochemical Equilibrium in Galvanic Cells. *Journal of Chemical Education*, 79 (6). 735-738.

Rosenberg, A. (2000). *Philosophy of science: a contemporary introduction*. Routledge, London.

Sanmartí, N. e Izquierdo, M. (1998). Enseñar a leer y escribir textos en ciencias. En: Jorba, J., Gómez, L. y Prat, A. (Ed). *Hablar y escribir para aprender.* (pp. 181-199). España, Bellaterra: ICE de la UAB.

SIMCE (2011). Informe de Resultados Nacionales SIMCE 2010. MINEDUC, Chile: Unidad de Currículo y Evaluación.

Solsona, N. (2007). Las Mujeres en la Historia de la Ciencia. En: Quintanilla y Adúriz-Bravo (Ed.), *Enseñar ciencias en el nuevo milenio. Retos y desafíos.* (pp. 37-63) Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.

Van Wynsberghe, R. & Khan, S. (2007). Redefining Case Study. *International Journal of Qualitative Methods*, *6* (2), 80 - 94.

Welsh, S. (2002). Advice to a New Science Teacher: The Importance of Establishing a Theme in Teaching Scientific Explanations. *Journal of Science Education and Technology*, 11(1), 93-96.

Capítulo 10

LA COMPRENSIBILIDAD DEL DISCURSO QUÍMICO DE LOS TEXTOS ESCOLARES DE CIENCIAS

Ainoa Marzábal
Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Educación,
Chile, amarzabal@uc.cl

Nos situamos en la perspectiva de la Actividad Científica Escolar (ACE) como paradigma didáctico que orienta el desarrollo de este trabajo. Se trata de una perspectiva reflexiva de la enseñanza de las ciencias a partir de tres aspectos: el social –en referencia a los destinatarios de este proceso de enseñanza–, el epistemológico –en referencia a la concepción actual de la ciencia– y al cognitivo –en referencia a la forma de concebir el aprendizaje– (Izquierdo y Aliberas, 2004).

Podemos considerar que el discurso químico contenido en el libro de texto se construye a partir de diversos discursos que forman parte del contexto de producción del texto escolar, y de los que, según Van Dijk (1997) podemos encontrar *pistas* en todos los niveles del discurso en forma de indicadores del contexto al que pertenecen. De esta forma los autores organizan las ideas de una determinada manera con el propósito de proporcionar información nueva y facilitar su asimilación para progresar en la construcción del conocimiento (Prat, 2000). Al tratarse de una comunicación escrita, la actuación de las personas que se comunican a través del texto es independiente y autónoma, sin que sus protagonistas coincidan ni en el tiempo ni en el espacio, por lo que el texto debe contener las instrucciones necesarias para ser interpretado (Calsamiglia y Tusón, 2004). Es por ello que el análisis del discurso químico tiene sentido desde una teoría de la comprensión (Kintsch, 1988) que considere además los aspectos propios de la disciplina, un método que también ha sido aplicado por otros autores, proponiendo finalmente que el proceso de comprensión fundamente el diseño y el uso de los textos escolares (Solaz - Portolés, 2001).

El modelo propuesto en nuestro análisis es el modelo de construcción – integración de Kintsch y Van Dijk (1983), que centra su atención en la integración textual en la memoria de trabajo del lector, y en los mecanismos que determinan el almacenamiento de la información en la memoria a largo plazo, a través de ciclos en los cuales se consideran un número determinado de fragmentos de texto y se intentan relacionar con las existentes en la memoria de trabajo o a largo plazo. Para los autores, el subconjunto de proposiciones que se mantiene en la memoria son las más recientes e importantes, es decir, las que están más interconectadas con otras partes leídas del texto.

A lo largo de la lectura se construyen dos representaciones mentales: la base textual (que representa

Merino, C., Arellano, M., Adúriz-Bravo, A (Eds.) *Avances en didáctica de la química: modelos y lenguaje.*
© 2014. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Impreso en Valparaíso, Chile.

las relaciones semánticas en el texto, tanto a nivel local como global) y el modelo situacional (resultado de la integración del contenido textual con los esquemas de conocimiento del lector).

En la Figura 1 representamos el modelo de Kintsch y Van Dijk.

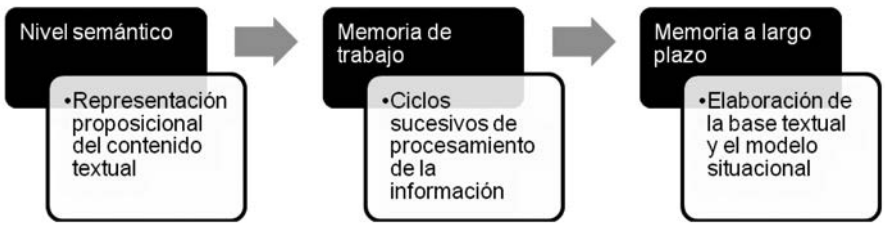


Figura 1. Niveles sucesivos de comprensión de un texto (Modelo de Kintsch y Van Dijk).

Dado que el modelo situacional es la *representación cognitiva de los acontecimientos, acciones, personas y, en general, de la situación sobre la que trata el texto* (Van Dijk y Kintsch, 1983:12), éste no corresponde necesariamente a la estructura original del texto, por lo que este trabajo se centrará en la construcción de la base textual. En el modelo de Kintsch y Van Dijk (1983) mientras que en la formulación superficial la memorización de la información es literal, es en la base del texto que el lector captura el significado del texto a partir de diversos tipos de estructura: la microestructura, la macroestructura y la superestructura.

Microestructura

La microestructura se refiere al conjunto de proposiciones relacionadas localmente, y por tanto está estrechamente relacionada con la coherencia que presenta el texto. El modelo de Kintsch y Van Dijk se inicia en el nivel semántico asumiendo que el lector construye una representación proposicional del contenido textual, lo que permite representar el contenido a partir de las interrelaciones entre los conceptos presentes. Para Beltrán (2002) parece adecuado suponer que los esquemas cognitivos están representados en la memoria en forma de redes semánticas complejas: componentes conceptuales representados gráficamente por nodos relacionados entre sí por relaciones diversas. Son esquemas flexibles y sensibles al contexto, que combinan dos tipos de conocimiento: declarativo y procedimental.

En este sentido, los conceptos científicos tienen una naturaleza dual (Flores y Gallegos, 1993), ya que están compuestos por dos tipos de términos: fenomenológicos y teóricos. Los términos fenomenológicos son descriptores de la experiencia, y se centran en la descripción de un fenómeno o suceso. Para elaborar este tipo de términos es importante que tenga lugar la interacción con el fenómeno que se quiere describir. Los términos teóricos son referentes estructurales de la teoría construidos para dar coherencia a las explicaciones, y tienen sentido en función de las relaciones formales de la estructura de la teoría científica. La construcción de términos teóricos tiene lugar a partir de un proceso de abstracción que se basa en la interacción entre los fenómenos y el establecimiento de

nuevas relaciones entre los conceptos, que pueden ser causales, principios o axiomas, o descripciones simbólicas con reglas.

Para la construcción de conceptos científicos es necesario que se puedan establecer relaciones lógicas y/o formales entre las construcciones teóricas y los términos fenomenológicos, ya que las relaciones de correspondencia entre la teoría y el fenómeno permiten la elaboración de predicciones y explicaciones (Stegmueller, 1979). Si estas relaciones de correspondencia no se establecen se construye un modelo parcial que puede ser teórico o fenomenológico. El modelo parcial teórico es una construcción a partir de las entidades abstractas que forman parte del discurso científico, y están desligadas de los fenómenos a los cuales se puede aplicar. Así el discurso se convierte en una construcción formal que no tiene relación con la realidad, y que por tanto no permite actuar sobre los fenómenos reales (Izquierdo y Aliberas, 2004). Muchos libros de texto de ciencias sintetizan el saber científico conservando lo que se considera esencial con el objetivo de facilitar el conocimiento al estudiante reduciendo el esfuerzo lector. Con estas operaciones se concentra el conocimiento de manera que falta información para reproducir el proceso que han llevado a cabo los autores en sus razonamientos, y para aplicar el conocimiento a la experiencia. El modelo parcial fenomenológico describe las relaciones entre variables y las secuencias observables de fenómenos, conectados mediante relaciones funcionales (Flores y Gallegos, 1993), pero al estar sujetos a fenómenos concretos, se convierten en conocimiento no transferible, que al no poder ser aplicado a otros fenómenos o contextos, pierde su poder explicativo y predictivo. Estas relaciones pueden tener naturaleza cualitativa o cuantitativa, según si se establece un modelo matemático de relación de variables, un proceso en general poco intuitivo. Finalmente, el establecimiento de relaciones entre los fenómenos y la teoría que permite explicarlos da lugar a un modelo posible, con capacidad para dar explicación a los fenómenos, especialmente si las relaciones que se establecen son relaciones causales y se refieren a fenómenos del mundo real (Sanjosé *et al.*, 1993).

Macroestructura

La macroestructura se refiere a la organización de las ideas en el texto a nivel global, construida a partir de la microestructura y la aplicación de operadores como la omisión, generalización y construcción. Una vez que el lector va identificando las proposiciones en el texto, la lectura va avanzando y se va construyendo una comprensión global del texto, buscando relaciones a un nivel superior. La macroestructura hace referencia a como se desarrolla la información y cómo se articula la nueva información que se va introduciendo.

Al enfrentarse a un texto los lectores realizan una serie de operaciones –selección, omisión, generalización– que les permiten construir la idea de lo que leen pudiendo llegar a un número limitado de ideas sin perder la información que se considera relevante. Comprender sería entonces la capacidad de realizar estas operaciones que permiten reducir la información y construir el significado global del texto (Prat, 2000).

Esta progresión mediante la cual el texto va aportando nueva información parte de una información supuestamente compartida que se activa, a la cual se van incorporando elementos nuevos que *em-*

pujan el contenido hasta llegar a una conclusión de la línea informativa, necesaria para que el texto se configure como tal (Tusón y Calsamiglia, 2004). Combettes (1988) caracterizó los principales tipos de progresión temática, considerando la información en dos categorías: tema y rema. El tema es el conjunto de elementos que establecen un vínculo con el discurso precedente, mientras que el rema es el conjunto de elementos que hacen avanzar la información aportando nuevos datos o presentando algo nuevo.

A continuación presentamos los diversos tipos de progresión temática, de más simple a más compleja:

- Progresión lineal: parte de un primer tema y el rema se convierte en el tema siguiente

  T1 → R1

  T2 → R2

  T3 → R3 ...

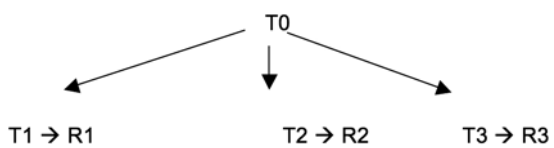
- Progresión de tema constante: a un mismo tema, se le van asignando remas diferentes

  T1 → R1

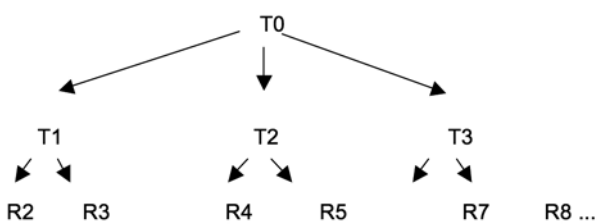
  T1 → R2

  T1 → R3 ...

- Progresión de temas derivados: a partir de un tema general, o hipertema, van surgiendo diferentes temas, con sus respectivos remas.



- Progresión de tema o rema extendido o ramificado: el tema o rema se expande en diversos subtemas.



La articulación de estos dos elementos (tema y rema) permite entender la dinámica de la información, y la forma en que ésta progresa a lo largo del texto, formando una red informativa. Así, la

riqueza de los significados que construimos depende de la cantidad y complejidad de las relaciones que logramos establecer, dos características que hacen referencia a la coherencia y cohesión de los elementos que se relacionan en un texto.

Entendemos por cohesión el conjunto de procedimientos que mantienen la conexión conceptual entre las diversas ideas que se encuentran en las frases y párrafos (Mayer, 1985). Diversos autores coinciden en que se le debe proporcionar al estudiante una red informativa que le permita establecer las oportunas relaciones entre conceptos (Kintsch y Van Dijk, 1983; Sanjosé et al., 1993). La explicación psicológica que justifica esta afirmación se centra en el hecho de que la cohesión del discurso permite la elaboración de una representación mental altamente integrada e interconectada en la memoria, y por tanto una recuperación más eficiente. En este modelo, la información es representada en la memoria como una red interconectada de nodos encadenados, que simbolizan los conceptos, y relaciones entre estos conceptos. La representación construida a partir de un discurso cohesionado sería más eficiente para la recuperación porque las múltiples interconexiones entre conceptos incrementan el número de nodos a los que se puede acceder, y el número de vías potenciales para acceder a un determinado nodo (Kintsch, 1998).

Así como los macroprocesos lectores procuran una representación global del contenido del texto, es lógico que cuanto mayor sea la organización del texto, más fácilmente se lleven a cabo estos procesos de comprensión lectora y menores son las inferencias que los lectores deben llevar a cabo.

Superestructura

Hasta ahora hemos visto cómo el texto progresa de manera que se alterna la información nueva con la ya conocida, mediante frases temáticas y marcadores lingüísticos. La forma de utilizar todo este conjunto de elementos está determinada por la estructura formal, que incide en la facilidad o dificultad en la comprensión del texto (Prat, 2000). Esta organización formal puede ser reconocida por el lector como una estructura global que establece un determinado tipo de conexiones entre las ideas (Prat y Izquierdo, 2000).

Para diversos autores, la estructura característica de los textos escolares de ciencias es el texto expositivo (Prat, 2000). En los libros de texto encontramos diversos modelos expositivos. Álvarez propone una subclasificación de los textos expositivos, a partir de las propuestas de Kintsch y Adam: definición – descripción, clasificación – colección, comparación y contraste, problema – solución, pregunta – respuesta y causa – consecuencia. Mayer clasifica estas formas básicas de organizar un texto expositivo: la descripción, colección y clasificación serían estructuras de bajo nivel, mientras que el establecimiento de relaciones causales o de pregunta – respuesta serían estructuras de alto nivel. Los lectores pueden identificar la estructura de alto nivel de un texto y utilizarla como guía para localizar la información relevante del texto y recordarla. Adam (1992) identifica cinco tipos diferentes de estructuras que pueden formar parte del texto expositivo, a las que llama modelos textuales: descriptivo, explicativo, argumentativo, instructivo y narrativo. El autor propone que el análisis de los textos didácticos, por su extensión, se base en secuencias textuales. Desde este punto de vista

entonces la superestructura de los textos didácticos corresponde a la secuencia que presentan de modelos textuales.

- El texto (o secuencia) descriptivo evoca o representa objetos, conceptos, fenómenos, hechos o procesos que se designan y caracterizan. El elemento de cohesión es, principalmente, la organización de los elementos en el espacio, recurriendo de forma frecuente a la ejemplificación (Prat, 2000). Este tipo de textos suelen estar incluidos en las lecciones y a menudo se asocian al contenido que se ha de memorizar, que suele ser de tipo conceptual: es un texto cerrado en que el lector simplemente es el receptor. En la descripción se producen proposiciones o enunciados que enumeran cualidades, propiedades, características o acciones mediante un tipo de códigos y lenguajes verbales y no verbales de objetos, hechos, fenómenos o acontecimientos, sin establecer relaciones causales, por lo menos explícitamente (Prat, 2000).

- El texto (o secuencia) explicativo tiene como objetivo principal informar, por eso el elemento organizador es la exposición de un determinado tema, caracterizado por su organización: el texto presenta el tema desde el punto de vista del autor en la introducción, a continuación se presentan las ideas de forma que estas se relacionen entre ellas y con las informaciones previas que tiene el lector en el cuerpo de la explicación, y finalmente se llega a la conclusión, en que se da una visión de conjunto. No obstante, se trata de una organización prototípica que, para Adam, no implica que tengan lugar todas las fases, ni tampoco en este orden (Adam, 1992). Explicar es *presentar razonamientos o argumentos estableciendo relaciones en el marco de las cuales los hechos, acontecimientos o cuestiones explicadas adquieran sentido y llevan a comprender o a modificar el estado de conocimiento* (Prat, 2000:37). Como su finalidad es comprender – y no solamente decir – determinados fenómenos, de manera más o menos explícita suele aparecer una pregunta como punto de partida, que a lo largo del texto se va resolviendo como propone Adam en su estructura explicativa.

- El texto argumentativo tiene una intencionalidad persuasiva y tiene como componentes básicos la justificación y la conclusión, buscando cambiar la visión del lector sobre el tema de las que trata a partir de la exposición de tesis en relación a la temática abordada. En los libros de texto de ciencias no suele aparecer este tipo de modelo textual en la parte expositiva, pero en cambio corresponde al tipo de texto que se le demandará al estudiante, que deberá ser capaz de adaptar las relaciones entre las ideas que ha presentado el texto, para reconstruirlas mediante un nuevo modelo textual (Prat, 2000).

- El texto instructivo es un modelo operativo en el que el texto guía la acción del estudiante, y que en general se usa en los textos didácticos de ciencias en las actividades resueltas y en las actividades experimentales.

- El texto narrativo se caracteriza por abordar aspectos subjetivos ordenados cronológicamente, y que en el caso de los textos científicos tendría cabida en aquellos aspectos que se abordan desde una perspectiva histórica. Para Graesser y Goodman (1985) el texto narrativo es más fácil de comprender y retener, ya que nuestro sistema de representación se va desarrollando inicialmente, a partir de la prosa narrativa.

Uno de los aspectos que destaca en las investigaciones realizadas en los libros de texto en relación a su estructura expositiva es que los textos, en lugar de presentar los modelos y teorías científicas como una representación más o menos simbólica de la realidad, construidas a partir de conceptos, hipótesis y relaciones lógicas entre las diversas entidades, presentan los modelos como entidades reales, y ocultan las relaciones de correspondencia que fundamentan la validez de los modelos teóricos. Esta característica podría explicar las ideas erróneas que presentan los estudiantes sobre la naturaleza de la ciencia y el fracaso a la hora de relacionar los modelos a las situaciones de laboratorio o la vida real, porque las teorías científicas se presentan como dogmas definitivos y cerrados, y no como construcciones heurísticas.

Habitualmente en los libros de texto aparecen enunciados declarativos, sin referirse a los problemas que permiten abordar su carácter predictivo o límites de validez (Astolfi, 1988), además de ignorar las situaciones problemáticas que históricamente, llevaron a la formulación de conceptos, leyes y teorías.

EXPLORACIÓN DE LA COMPRENSIBILIDAD DEL DISCURSO DE UN TEXTO

El objetivo de esta investigación es la exploración de la comprensibilidad del discurso químico de los textos escolares, a partir del estudio de los diversos elementos que lo conforman. Las características de este estudio nos han llevado a considerar la investigación paradigmática de datos narrativos, teoría fundamentada o grounded theory (Glasser y Strauss, 1967) como el marco metodológico más adecuado para llevar a cabo nuestra reflexión. Situados en la investigación cualitativa interpretativa, la metodología que usamos es el estudio de caso, ya que estudiamos casos particulares de manera cualitativa con diversos focos y argumentos. Esta metodología pretende desarrollar un cuerpo de conocimiento que describa los casos individuales para poder llegar a abstracciones concretas y particulares, referidas a la muestra analizada, de las cuales se puedan identificar patrones que nos permitan extraer lo que es generalizable a otras situaciones. El propósito de los investigadores es estudiar un caso en profundidad, es descubrir, comprender e intrerpretar la realidad, más que comprobar hipótesis previamente determinadas.

Entonces, el caso se transforma en un sistema limitado, delimitado por un contexto que lo determina, e intrínsecamente acotado, y que se considera que tiene un interés didáctico por alguna de estas razones: porque la situación tiene cierta relevancia, porque se puede hipotetizar sobre este caso o porque es intrínsecamente interesante para comprender un fenómeno en profundidad.

Selección de la muestra

La oferta editorial es numerosa, y por tanto es necesario acotar el objeto de estudio para que sea viable, priorizando la profundidad del análisis para la comprensión del fenómeno, sobre el criterio de una muestra más amplia que nos podría haber llevado a resultados con mayor grado de generalización. El criterio de selección de la muestra ha sido escoger entre la oferta editorial, aquellos textos que son más utilizados en nuestro contexto: Catalunya, para el último curso en que el estudio de la

Química es obligatorio (3º ESO), reflejando pues el nivel de alfabetización científica que curricularmente se considera para toda la población escolar.

Los datos referentes a la selección de libros de texto por parte de los establecimientos educacionales no son públicos, ni tampoco las unidades vendidas por todos los establecimientos que comercializan libros de texto, la fuente de información utilizada han sido las ventas del establecimiento con mayor volumen de ventas en textos escolares, en el inicio del curso escolar 2009 – 2010, estimando que podemos considerarlo representativo. Al ser consultado el establecimiento informa que las ventas se concentran principalmente en los libros de tres editoriales, que representan prácticamente el 85% de las ventas, y que difieren en mucho del volumen de ventas del resto de editoriales. Creemos que este dato refuerza todavía más la fiabilidad de esta muestra, y que nos permite inferir que éstos sean los tres textos escolares más utilizados en nuestro contexto. Para el ejemplo, llamaremos a estos libros de texto A, B y C.

En cualquier caso en esta investigación no tenemos el propósito de que la muestra represente a la población, y por tanto universalizar los resultados, sino que su intencionalidad apunta a la obtención de la máxima información – comprensión posible de una realidad particular.

Instrumentos de recogida de datos

Los libros de texto que conforman la muestra seleccionada para este estudio constituyen los datos primarios, pero para interpretar estos datos necesitamos un análisis preliminar, considerando que estos *nuevos datos* obtenidos a partir del libro de texto, son los que nos permitirán desarrollar el análisis. Para la obtención de estos datos aplicamos categorías a priori que provienen de la literatura, que nos permiten identificar en el libro de texto cada uno de los elementos que queremos estudiar, los aspectos que hemos considerado relevantes para nuestra investigación.

Para el estudio de los contenidos del texto escolar de Química hemos considerado la clasificación de las materias en conceptos, procedimientos y actitudes, como estrategia curricular clásica. En los libros de texto los procedimientos que forman parte de los contenidos quedan reflejados en las actividades resueltas o propuestas, como también ocurre con las acciones relacionadas con las opiniones y valoraciones que demandan un proceso activo de análisis crítico y reflexión del lector.

En este caso lo que queremos es representar los contenidos del libro de texto estableciendo una estructura explicativa que podamos relacionar con su comprensión y adquisición. El instrumento de análisis que utilicemos deberá permitirnos determinar qué conceptos aparecen en el libro de texto y cómo se relacionan entre ellos, formando una estructura que el alumno deberá comprender y aprender. Por tanto la determinación de un sistema conceptual implica la identificación de los conceptos presentes y de las relaciones entre ellos.

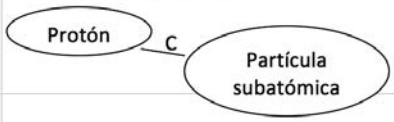
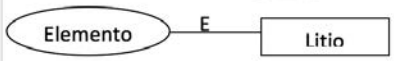
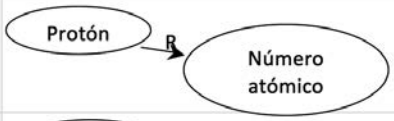
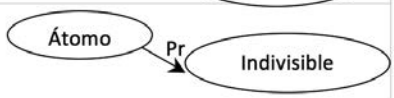
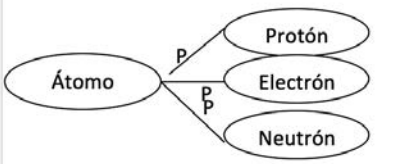
El mapa conceptual puede ser considerado como una representación visual de la jerarquía y las relaciones entre conceptos, y puede servir como mediador traduciendo el texto lineal a un estructura jerárquica, enfatizando, siguiendo la teoría de Novak, el papel central de los conceptos en el proceso de aprendizaje. Entendemos concepto, según la definición de Novak y Gowin (1988) como la imagen

mental que provoca en nosotros las palabras o signos mediante las cuales expresamos regularidades. Según Bruner, Goodnow y Austin (1956) los conceptos sirven básicamente para reducir la complejidad del entorno, identificar los objetos que hay en el mundo, reducir la necesidad de aprendizaje constante, proporcionar una orientación a la actividad experimental y ordenar y relacionar clases de hechos.

Por tanto, un concepto es una entidad: una representación mental, una construcción simbólica que tiende a capturar la esencia de los objetos más allá de las experiencias, con una tendencia clara a agruparlos. A pesar de que un símbolo o una palabra no genera en los individuos la misma representación mental, en este caso nos limitamos a discriminar qué es (y qué no es) un concepto, y creemos que en este sentido habrá un consenso, que en cualquier caso deberemos validar en el instrumento de análisis. Una de las propuestas de representación de sistemas conceptuales es la propuesta por Thagard (1992) quien establece la identificación de conceptos (nombres al interior de una elipse) y de las relaciones que se establecen entre ellos entre cinco categorías posibles (rectas y flechas que los relacionan). La selección de este instrumento de recogida de datos, más allá de la representación visual, se debe a la acotación de las relaciones posibles a cinco: relación de parte, de clase, de propiedad, de regla y de ejemplo. A diferencia de los mapas conceptuales, en los cuales el conector se establece sin ninguna delimitación, la propuesta de Thagard nos permite establecer las características de un sistema conceptual, según el tipo de relación que predomina, que Thagard asocia a una intencionalidad determinada (Thagard, 1992).

Los mapas de Thagard correspondientes a un capítulo, y posteriormente el que representa el libro de texto completo, constituyen estructuras muy complejas, y su estudio se simplifica y sistematiza al acotar el número de relaciones posibles entre los conceptos, y nos permite identificar de forma más clara qué orientación explicativa presentan los sistemas conceptuales. Una vez identificados los conceptos y establecidas las relaciones entre ellas, se pueden estudiar aspectos como el grado de conexión o desconexión de los conceptos, la cantidad de relaciones y conceptos y su organización interna, etc. En la Tabla 1 presentamos las cinco relaciones, su descripción y un ejemplo junto a su representación, para mostrar también su aplicación para la construcción de los mapas conceptuales.

Tabla 1. Descripción y representación de las relaciones en los mapas de Thagard.

Nombre	Tipo de relación	Ejemplo	Representación
Clase	Permiten jerarquías, indican que un concepto es un "tipo de…"	El protón es un tipo de partícula subatómica	
Ejemplo	Indican que un objeto particular es un ejemplo de un concepto	El litio es un ejemplo de un elemento	
Regla	Expresan las relaciones generales, pero no universales, entre conceptos	El número atómico es el número de protones que tiene un átomo	
Propiedad	Indican que un objeto tiene una determinada propiedad	El átomo es indivisible	
Parte	Indican que algunas cosas están formadas por partes, permiten jerarquías	El átomo está compuesto por electrones, protones y neutrones	

Una vez conocidas las relaciones posibles, se aplica el instrumento a un texto, en el cual aparecen diversos conceptos con diferentes tipos de relaciones, y éstas se representan mediante un mapa conceptual. A continuación se propone un ejemplo sencillo, incluido en uno de los libros de texto que conforman la muestra de esta investigación.

> La solubilidad de una sustancia pura en un disolvente determinado es una propiedad característica y depende de la temperatura. Para la mayoría de sustancias sólidas, la solubilidad en agua aumenta con la temperatura. En cambio, en los gases, la solubilidad disminuye cuando la temperatura aumenta.

A continuación se subrayan en el texto los conceptos presentes:

La solubilidad de una sustancia pura en un disolvente determinado es una propiedad característica y depende de la temperatura. Para la mayoría de sustancias sólidas, la solubilidad en agua aumenta con la temperatura. En cambio, en los gases, la solubilidad disminuye cuando la temperatura aumenta.

En este fragmento encontramos una muestra de diferentes tipos de relaciones. En cuanto al concepto de sustancia se refieren dos tipos: sustancias puras y sustancias sólidas, y a la solubilidad como una propiedad de las sustancias. Claramente hay una relación de regla entre la solubilidad y la temperatura. En la Figura 2 representamos el mapa de Thagard para este fragmento:

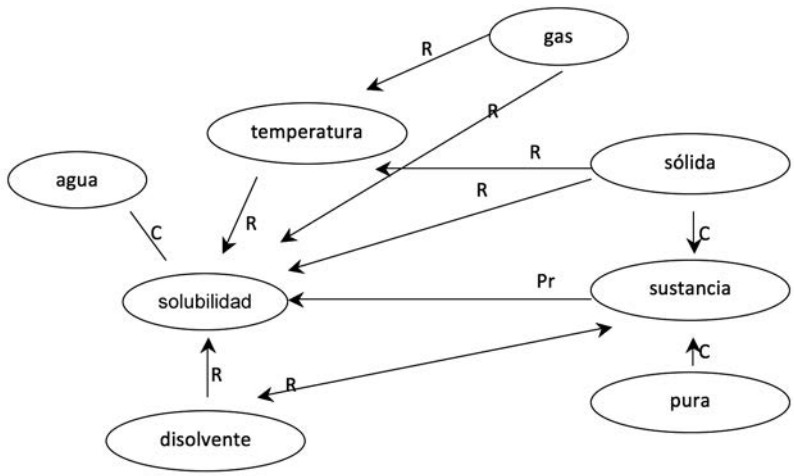


Figura 2. Ejemplo de aplicación de los mapas de Thagard.

Hemos visto los conceptos presentes y cómo se relacionan. Constatamos que no aparece ningún concepto aislado del resto, y que en este fragmento aparece un gran número de relaciones: de parte, de clase, de propiedad y de regla. En cuanto a la validación del instrumento éste se aplica, según la propuesta de Thagard (1992), y por tanto podríamos considerar que está validado, pero nos ha parecido importante verificar que hay un consenso en la identificación de los conceptos presentes en el texto.

En la validación, realizada por tres investigadores, hemos visto que había coincidencia en poco más de la mitad de los conceptos identificados. En una mirada más a fondo con estos investigadores que han colaborado en la validación del instrumento, nos hemos dado cuenta de que la palabra concepto era muy genérica, y que como mínimo podíamos definir tres niveles: conceptos, conceptos científicos y conceptos químicos. Desde este punto de vista nos hemos centrado en los conceptos químicos, donde había coincidencia total. En lo que se refiere al resto de conceptos, en el momento de señalarlos habíamos tenido en cuenta los que considerábamos necesarios para comprender los conceptos químicos. Ante la evidencia de la falta de consenso con este criterio, decidimos tener en cuenta todos los conceptos científicos. Pensamos que esta consideración es suficiente para validar este instrumento de recogida de datos.

Estrategia de análisis de datos

Para cada uno de los capítulos de los tres libros de texto hemos construido un mapa de Thagard que representa el sistema conceptual correspondiente. A partir de estos datos construimos, después de todo un proceso de interpretación de los datos, la estructura conceptual de cada uno de los libros de texto. En primer lugar, en la Figura 3 representamos de forma esquemática este proceso de interpretación:

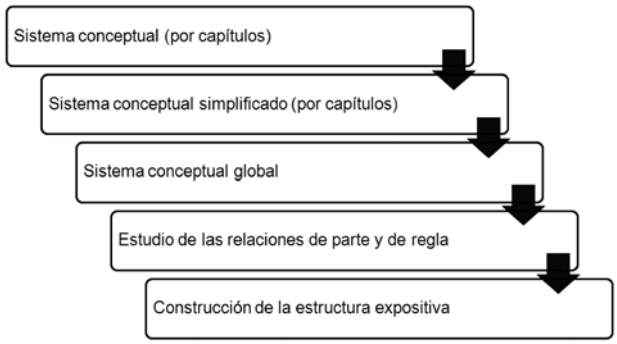


Figura 3. Estrategia de análisis de los sistemas conceptuales.

La construcción de la estructura expositiva involucra el libro de texto completo, por tanto es necesario elaborar un recorrido que permita integrar la información propia de cada capítulo, para elaborar una visión global del libro de texto. Los mapas de Thagard obtenidos, a pesar de no ser excesivamente complejos capítulo a capítulo, forman una estructura compleja cuando se unen para representar el libro completo. Es por ello que el primer paso de la interpretación es la simplificación de los sistemas conceptuales.

Para llegar al sistema conceptual simplificado se identifican, en cada uno de los mapas, partes del sistema en los cuales consideremos que un conjunto de conceptos contribuyen a la caracterización de una noción central, a la que llamaremos núcleo conceptual. El término núcleo conceptual ya ha sido utilizado con anterioridad en investigaciones en didáctica de las ciencias (Perales, 1993).

Por ejemplo, esta es una parte del sistema que se obtiene:

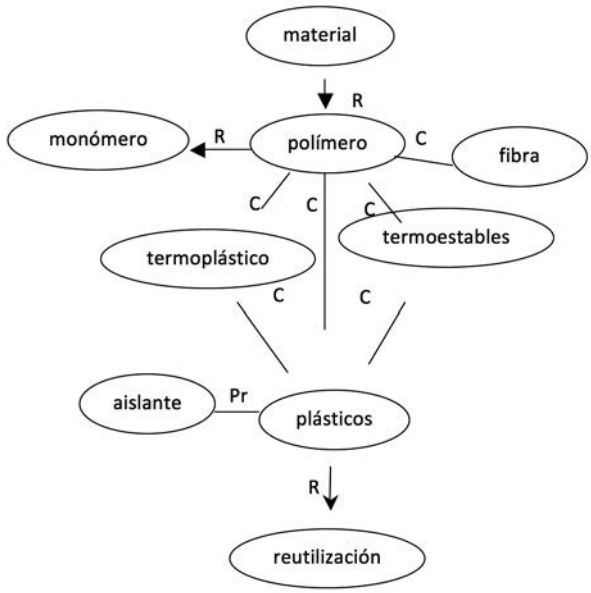


Figura 4. Ejemplo de estrategia de simplificación del sistema conceptual.

Toda esta parte del sistema queda solamente conectada con el resto por las relaciones de regla con los conceptos material y reutilización. Consideramos que contribuye a la caracterización de los polímeros a partir de relaciones de clase, de propiedad y una relación de regla, y la podemos simplificar de la siguiente manera:

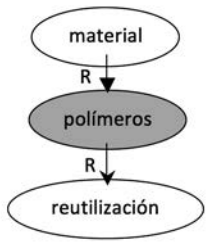


Figura 5. Ejemplo de estrategia de simplificación del sistema conceptual.

Al representar el núcleo conceptual en color gris en lugar de blanco, mantenemos la evidencia de que esta parte del sistema presentaba un mayor desarrollo, pero con esta estrategia de simplificación podemos identificar más claramente el esqueleto del sistema conceptual, focalizando en los conceptos clave del capítulo, y las relaciones que se establecen entre ellos. Para cada uno de los sistemas simplificados estudiamos el tipo de núcleos conceptuales que identificamos, su posición

en el sistema conceptual y los conectores que presenta el nuevo sistema conceptual. A partir de los sistemas simplificados de cada uno de los capítulos se construye el sistema conceptual global del texto. Para construirlo se identifican los conceptos que actúan como nexo de unión entre los diversos capítulos, y que son aquellos que aparecen en más de un capítulo y permiten establecer una conexión entre ellos. Como ejemplo representamos los extremos de dos sistemas conceptuales simplificados, que tienen el concepto de átomo en común, y a continuación la representación de la unión de estos dos sistemas.

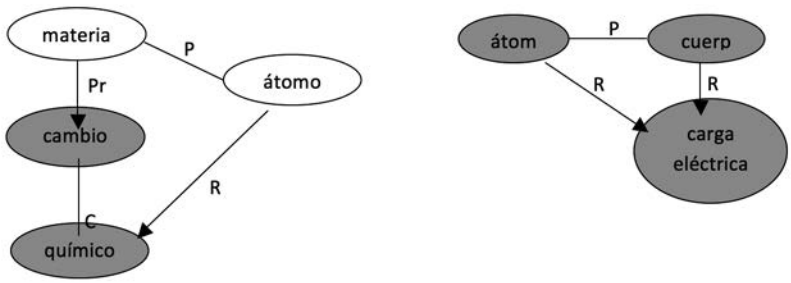


Figura 6. Ejemplo de estrategia de construcción del sistema global: sistemas simplificados.

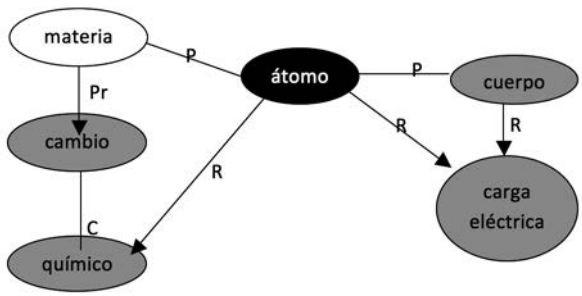


Figura 7. Ejemplo de estrategia de construcción del sistema global: conexión entre sistemas.

En este caso representamos el concepto que constituye el nexo con fondo negro, para identificarlo claramente en el sistema conceptual global. Una vez construido el sistema conceptual global, conseguimos representar visualmente el sistema conceptual del texto escolar completo. En este sistema global exploramos la cohesión, en términos de las interconexiones entre capítulos, la complejidad, teniendo en cuenta el número de nodos y de relacionantes, caracterizamos los núcleos conceptuales y la posición en que se encuentran, y por último la conectividad, es decir, el tipo de relaciones que se establecen entre los nodos.

Una vez analizados los sistemas conceptuales globales de los tres libros de texto, la información que hace referencia a las relaciones que conectan los conceptos y núcleos conceptuales se muestra insuficiente: la mayor parte de las relaciones son de clase, parte y regla. En cuanto a las relaciones

de clase y de parte, indican una relación jerárquica de los conceptos, mientras que las relaciones de regla indican relaciones ontológicas que contribuyen a la construcción del modelo científico. Las relaciones de regla, claramente mayoritarias en los sistemas conceptuales globales identificados, engloban un conjunto de relaciones de naturaleza muy diversa, consideraremos que las relaciones de regla *indican cómo funcionan los conceptos en la deducción, la explicación o la resolución de problemas, tienen significado, según un modelo o teoría y son explicativas siempre y cuando se reconozca su fundamento teórico* (Izquierdo, 2005:192). Así exploramos más a fondo las relaciones de regla presentes en los sistemas conceptuales, identificando y caracterizando diversos tipos de relaciones de regla.

ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de los sistemas conceptuales, a través de la estrategia de análisis referida en el apartado anterior, ha dado lugar a la siguiente taxonomía de tipos de relaciones de regla:

Tabla 2. Tipos de relaciones de regla que emergen del proceso de análisis.

Tipo de relación	Descripción	Ejemplo
Correspondencia cuantitativa CSP – Cuanti	Regla en la cual dos o más variables se relacionan mediante un modelo matemático que tiene como finalidad el análisis cuantitativo de una situación, posibilitando el estudio de la evolución de las variables y su interdependencia, la predicción de las variables en un sistema o el cálculo de su valor	Definiremos la intensidad de corriente como el número de cargas eléctricas que atraviesan la sección recta del conductor por unidad de tiempo
Correspondencia cualitativa CSP – Cuali	Regla que conecta dos sucesos o fenómenos, evidenciando el tipo de dependencia que hay entre ellos en términos de sus propiedades o cualidades, pero sin justificar la existencia de esta conexión	En una reacción química siempre hay un intercambio energético
Condición implícita CND – I	Regla que establece condiciones o características de una entidad que queda, de esta forma, descrita o definida. Consideramos que es implícita cuando se hace evidente la existencia de relaciones de regla que no se enuncian	La solubilidad de una sustancia pura en un disolvente es una propiedad característica y depende de la temperatura
Condición explícita CND – E	Regla que establece algunas condiciones y características de una entidad que queda, de esta forma, descrita o definida. Consideramos que es explícita cuando todas las relaciones de regla que aparecen quedan enunciadas	Los gases ejercen una presión sobre las paredes del recipiente que los contiene. Esta presión es debida a los choques de las partículas del gas contra las paredes

Causal CAU	Regla que relaciona dos sucesos o fenómenos como causa y consecuencia, sin justificar necesariamente esta relación	En ciertas circunstancias los cuerpos pueden perder o ganar carga eléctrica. Desde el punto de vista microscópico esto se debe al movimiento de los electrones entre diversos cuerpos

Las categorías de relaciones de regla que hemos identificado en el análisis se ajustan a la línea teórica de Flores y Gallegos (1993) que hace referencia a la naturaleza teórica y fenomenológica de las relaciones entre conceptos. Las relaciones de condición (ya sea explícita o implícita) corresponderían a la construcción de fenómenos teóricos, mientras que las relaciones de correspondencia (ya sea cualitativa o cuantitativa) se refieren a los términos fenomenológicos, ya que describen las relaciones entre las variables, o las secuencias observables de los fenómenos. Además, las reglas de correspondencia son fundamentales para la construcción de modelos posibles que contengan los dos tipos de términos, teóricos y fenomenológicos, capaces de generar interpretaciones y predicciones de los fenómenos observados. A continuación presentamos de forma esquemática los resultados obtenidos al aplicar la estrategia de análisis a todos los capítulos de los tres libros de texto que conforman la muestra de este estudio.

Tabla 3. Síntesis de resultados del análisis. Libro A.

Libro A					
Cohesión	Alta cohesión, excepto los contenidos referentes a los materiales, que están conectados implícitamente				
Complejidad	Número similar de nodos y relaciones. Conceptos centrales de los que se extienden linealmente los demás en forma radial				
Caracterización	Núcleos conceptuales intermedios correctamente caracterizados mayoritarios. Algunos conceptos en posición terminal no se caracterizan				
Capítulos	Materiales	Cambio químico	Electricidad	Sustancias puras	Modelo atómico
Núcleos conceptuales	Descriptivos	Naturaleza diversa	Naturaleza diversa	Descriptivos	Descriptivos
Conectores	Explicativos	No hay predominio	Explicativos	Jerárquicos y explicativos	Explicativos
Relaciones de regla	CND – E, CAU	CSP - Cuali	CND – E, CSP - Cuanti	CND – E	CND - E

Tabla 4. Síntesis de resultados del análisis. Libro B.

Libro B								
Cohesión	Baja cohesión: conceptos aislados y conexiones implícitas							
Complejidad	Número superior de relaciones que de nodos: tres conceptos clave de los que se extienden de forma radial el resto de conceptos							
Caracterización	Conceptos terminales y aislados quedan sin caracterizar. Sin tendencia clara en la situación de los núcleos conceptuales: al inicio, intermedios y extremo del sistema conceptual							
Capítulos	Ciencia y medida	Estados físicos	S. puras y mezclas	Cambio químico	Química en acción	Electricidad	Modelo atómico	Elementos y compuestos
Núcleos conceptuales	Descr.	Descr.	Descr.	No hay	Explic.	Descr.	Jerar. y descr.	Descr.
Conectores	Jerar. y explic.	Jerar. y explic.	Jerar. y explic.	Explic.	Desc.	Explic.	Jerar. y explic.	Jerar. y explic.
Relaciones de regla	CND-E	CND-E	CND-E	CND-E	-	CND – E	CSP-Cuanti Cuali y CND	CND – E CND – I

Tabla 5. Síntesis de resultados del análisis. Libro C.

Libro C								
Cohesión	Baja cohesión: conceptos aislados y conexiones implícitas							
Complejidad	Número superior de relaciones que de nodos: zona central con un gran número de interconexiones como núcleo del sistema. Gran número de nodos que conectan los capítulos entre ellos							
Caracterización	Conceptos terminales y aislados quedan sin caracterizar. Sin tendencia clara en la situación de los núcleos conceptuales: al inicio, intermedios y extremo del sistema conceptual							
Capítulos	Ciencia y medida	Estados físicos	S. Puras y mezclas	Cambio químico	Química y medio ambiente	Electricidad	Modelo atómico	Tabla periódica
Núcleos conceptuales	Desc.	Explic.	Desc y explic.	Explic.	Desc.	Desc.	Jerar. y desc.	Desc.
Conectores	Explic.	Jerar. y explic.	Jerar. y explic.	Jerar. y explic	Jerar. y explic	Explic.	Jerar. y explic.	Jerar. y explic.
Relaciones de regla	CND-E y CSP - Cuali	CND-E/I y CSP - Cuali	CND – E y CSP - Cuali	CND – E y CSP - Cuali	CND – I y CSP – Cuali y Cuanti	CND – E y CSP - Cuanti	CND – E y CSP - Cuanti	CND-E

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Debido a la orientación didáctica de nuestro análisis, la discusión de los resultados deberá permitirnos comprender las implicaciones que podría tener la base textual que caractericemos en el aprendizaje de los contenidos de Química involucrados. El estudio de la base textual que presentan los libros de texto nos ha permitido visualizar claramente la red que forman los conceptos, sin perder el significado del discurso (Thagard, 1992). La identificación de núcleos conceptuales permite identificar las diversas vías abiertas hacia la simplificación del sistema conceptual (microestructura del texto), y la construcción del sistema conceptual global que presenta el texto (macroestructura).

Estos núcleos conceptuales los consideramos conceptos inclusivos, ya que incluyen un cierto número de conceptos interrelacionados que están subordinados a este concepto principal (Lawson, 1994:168). Las relaciones entre las redes conceptuales nos permite ver la estructura básica que se comunica a lo largo de los capítulos, y posteriormente en el texto completo (superestructura). En el análisis de los datos hemos encontrado que los tres libros de texto presentan bases textuales diferentes, con diferencias importantes también al interior de cada uno de ellos.

El libro de texto A se caracteriza por organizar toda la información en un número relativamente bajo de capítulos, que son por lo tanto bastante extensos. Presenta núcleos conceptuales descriptivos en cuatros capítulos, y explicativo en uno de ellos (microestructura), y sus sistemas conceptuales son en general complejos y con buena cohesión (macroestructura). La microestructura basada en núcleos descriptivos permite activar los conocimientos del lector, necesarios para la aplicación de la estrategia de comprensión lectora, en el marco de macroestructuras bien cohesionadas, de tipo explicativo, y que por tanto establecerían suficientes relaciones entre los conceptos como para enriquecer los significados y alejarse de un aprendizaje mecánico (Monereo, 1990).

Mientras que el texto presenta bastante homogeneidad en cuanto a su micro y macroestructura, sus superestructuras son bastante diversas. El primer capítulo presenta una estructura de alto nivel con relaciones causales, pero el resto de capítulos son de bajo nivel y presentan, en la mayoría de casos, modelos parciales (Flores y Gallegos, 1993). Globalmente la homogeneidad y naturaleza de la micro y macroestructura del texto permite una buena construcción del significado global del texto, pero el cambio constante en las superestructuras de los capítulos puede suponer una dificultad para el lector, que en cada caso ha de reconocer una estructura diferente para la organización de la información. Esto, juntamente con el bajo número de conexiones entre los capítulos, puede dificultar la construcción de un modelo explicativo global, que sería el propio de la Química, pero las tres estructuras del texto parecerían promover buenas estrategias de organización de ideas en el lector, que posibilitan el aprendizaje comprensivo.

El libro de texto B está organizado en un número mayor de capítulos y presenta microestructuras diversas, con núcleos descriptivos, explicativos o ausencia de núcleos, diversidad en las macroestructuras y diversas superestructuras: es por tanto un texto con una gran heterogeneidad en la forma de presentar las temáticas. Globalmente las grandes diferencias entre los capítulos plantearán grandes dificultades a los lectores, que deben cambiar continuamente los macroprocesos que aplican tanto para la construcción de la macroestructura como la superestructura. A pesar de que el número de

conectores entre los capítulos parecería suficiente para construir una visión global de la Química, la mitad de los capítulos del texto presenta baja cohesión, lo que dificultaría la construcción de un sistema conceptual global completo.

El libro de texto C presenta un número elevado de capítulos, y también bastante diversidad en las estructuras de sus capítulos, de hecho es el texto que más variaciones presenta en las bases textuales de sus capítulos, y por tanto será el que demandará en el lector más cambios en las estrategias que aplica de comprensión lectora. Sin embargo, en este libro destacan la gran cantidad de conceptos que permiten conectar entre ellos los sistemas conceptuales de los capítulos, lo que facilitaría la construcción del sistema conceptual global.

A lo largo de la discusión de resultados hemos encontrado evidencias de que parece haber más coincidencias en las bases textuales de los bloques temáticos que presentan los libros de texto, que al interior de cada uno de los textos escolares. Todos los bloques temáticos que presentan los textos escolares tienen su punto de partida en el nivel macroscópico. Algunos de los bloques temáticos (como materiales de uso cotidiano o mezclas) se mantienen en este nivel, mientras que otros (como tabla periódica o modelo atómico) se desplazan hacia niveles inferiores. Así, destacamos que en todos los capítulos que presentan una superestructura descriptiva – explicativa, la parte descriptiva corresponde al desplazamiento desde el nivel macroscópico hacia niveles inferiores. Este paso entre niveles, que se va repitiendo a lo largo de los tres libros de texto, contribuirá a lograr uno de los objetivos básicos de la Química en la educación secundaria: el paso entre los mundos macroscópico y microscópico. De la misma manera, el esfuerzo de los autores de iniciar todos los capítulos en el mundo macroscópico, es decir, en la realidad observable y por tanto potencialmente familiar al lector, indicaría un esfuerzo por presentar conceptos inclusores como punto de partida para un aprendizaje significativo.

Respecto a la base textual de los diversos bloques temáticos, algunos bloques se presentan de forma diversa en los tres libros analizados, pero algunos muestran una base textual similar. Los bloques temáticos teoría corpuscular y cambio químico presentan microestructuras basadas en núcleos conceptuales explicativos, una macroestructura de complejidad mediana pero con buena cohesión y una superestructura con una secuencia que combina los modos descriptivo y explicativo.

Los bloques temáticos átomo y radioactividad presentan una microestructura con núcleos descriptivos, una macroestructura compleja con buena cohesión y una superestructura descriptiva – explicativa que conforma un modelo parcial desplazado hacia la construcción teórica de las entidades químicas.

El bloque temático electricidad presenta una microestructura de núcleos descriptivos, una macroestructura compleja con alta cohesión y una superestructura explicativa que conforma un modelo posible, donde las relaciones de correspondencia son de tipo cuantitativo y no siempre se acompañan del marco interpretativo que dé sentido a las relaciones matemáticas que se establecen. El resto de bloques temáticos: sustancias puras y mezclas, estructuras moleculares y cristalinas, tabla periódica y materiales de uso cotidiano no presentan bases textuales equivalentes en los tres libros de texto.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

Para la identificación de la base textual hemos analizado y discutido sus tres estructuras: la microestructura, la macroestructura y la superestructura. Hemos concretado la microestructura a partir de la identificación de los núcleos presentes en los sistemas conceptuales, caracterizando dos tipos de núcleos: descriptivos y explicativos. Los núcleos descriptivos se centran en las entidades y activan más fácilmente los esquemas de conocimiento de los lectores, pero si las relaciones que se establecen entre ellos no se presentan bajo un marco teórico claro, pueden llevar a una comprensión superficial. Este tipo de núcleos conceptuales son los más frecuentes en la muestra analizada. A partir de los núcleos explicativos, en cambio, es más complejo activar los conocimientos de los lectores porque se centran en las relaciones, pero este proceso se puede favorecer a partir de elementos organizadores que expliciten, en el texto, un contexto que dé sentido a las relaciones que se presentan. Este tipo de núcleos conceptuales, además, permiten el razonamiento científico e imposibilitan la reproducción mimética de la información y la arbitrariedad de las relaciones, condiciones para el aprendizaje significativo. Este tipo de núcleos aparecen en los capítulos que hacen referencia a la teoría corpuscular de la materia, y al cambio químico.

En referencia a la macroestructura, hemos considerado la complejidad del sistema conceptual, y su cohesión. En los textos analizados hemos encontrado diferencias tanto en la complejidad como en la cohesión de los sistemas conceptuales, pero en general podemos hablar de un nivel de complejidad y cohesión adecuados en la mayoría de los capítulos, que permiten construir el conocimiento como una red informativa con suficientes interrelaciones y donde la mayoría de los nodos están conectados entre ellos.

La superestructura se refiere a la estructura textual. Es el componente más formal del discurso, y es importante porque el lector reproduce los principios organizadores del discurso para la memorización. De las diversas superestructuras posibles hemos identificado la descriptiva y explicativa. El texto expositivo tiene como objetivo expresar información o ideas, y está formado por secuencias que pueden presentar otros modelos textuales como el descriptivo. Estas secuencias presentan tres fases: el planteamiento de una pregunta o problema, una fase de resolución del problema y una fase de conclusión – evaluación. Ninguno de los tres libros cumple el requisito de responder a una pregunta más o menos explícita. También hemos visto cómo el tipo de relaciones de regla que conectan los nodos del sistema conceptual, según si son relaciones de correspondencia o de condición, determinan su orientación: teórica, fenomenológica o combinada.

La naturaleza descriptiva de bajo nivel de los tres libros de la muestra evidencia la necesidad de explicitar señales estructurales que contribuyan a los macroprocesos que debe realizar el alumno para la comprensión lectora y de formular preguntas iniciales que puedan motivar el aprendizaje y generar un modelo textual explicativo, con patrones de alto nivel que faciliten la comprensión lectora y aporten estrategias de razonamiento más próximas al razonamiento científico.

En relación a los contenidos nos preguntamos cuáles presentan los textos y cómo los estructuran para su comprensión. Para responder a la pregunta de este trabajo hemos identificado la base textual a partir del sistema conceptual. A partir de la estrategia de análisis y la discusión de resultados

podemos concluir que los textos analizados presentan una base textual adecuada para su comprensión lectora, es decir, permiten al lector la construcción de una base textual cohesionada. El estudio de la superestructura evidencia una situación enunciativa informativa que es coherente con el modelo de ciencia dogmática y de aula transmisiva que presentan los textos, en la que la Química se presenta a partir de la descripción de los hechos científicos representados en el texto, y las teorías científicas asociadas a estos hechos.

Las características de los sistemas conceptuales parecen responder a los bloques temáticos más que a la coherencia interna en el libro de texto. Podemos concluir entonces que la construcción del conocimiento científico es más propia del bloque temáticos que del texto escolar, y que por tanto los bloques temáticos tienen unas características propias que los textos escolares reproducen, y que implican la presencia de patrones informativos diferentes al interior del libro de texto. Mientras que los bloques temáticos átomo, radioactividad y electricidad presentan modelos adecuados tanto en su complejidad y cohesión, como en la presencia de conceptos inclusores y diversos tipos de relaciones de regla, los bloques temáticos Tabla Periódica, Estructuras moleculares y cristalinas, sustancias puras y mezclas y materiales de uso cotidiano, presentan significados poco trabajados, baja cohesión de ideas y un elevado grado de nominalización de los fenómenos, que derivan en una construcción teórica del modelo que pierde entonces su poder explicativo y predictivo. La teoría corpuscular y el cambio químico, por último, apuntan a una nueva orientación de los contenidos en que las entidades se caracterizan explicativamente, pero sin un desarrollo uniforme de los sistemas conceptuales y sin instancias que permitan la activación de los conocimientos del lector.

El estudio de la base textual, y más concretamente de las relaciones de regla que se establecen entre los conceptos, como categorías emergentes del proceso de análisis, quedan validadas se acuerdo a la literatura existente, y se muestran como una herramienta metodológica útil para explorar la presencia de términos fenomenológicos o nominalizados en los textos escolares, ya que nos ha permitido evidenciar una limitación importante en los libros de texto: una construcción teórica de la Química desconectada de los fenómenos reales a los que se refiere. Esta conexión, sin embargo, depende en gran medida de la temática que se aborda. Los resultados indican que algunas temáticas como átomo, radioactividad y electricidad presentan la conexión entre hechos y teoría bastante resuelta, mientras que otras temáticas como la tabla periódica o los materiales de uso cotidiano no están consolidados. Además, las temáticas teoría corpuscular y cambio químico presentan bases textuales diferenciadas, que parecerían favorecer la modelización de los fenómenos químicos.

Los resultados de este estudio ponen de manifiesto las limitaciones de los libros de texto más allá de la construcción de una red informativa con buena cohesión y complejidad. Destaca la ausencia de una pregunta o situación problemática inicial que constituya un punto de partida motivador para el estudiante, que transforme el libro de texto en un recurso realmente explicativo, usando estructuras de alto nivel que promuevan la comprensión en lugar del aprendizaje reproductivo, y donde las relaciones de causa y consecuencia, que son propias de la ciencia, se establezcan explícitamente como parte del discurso científico.

Es preocupante hasta qué punto los textos escolares presentan una ciencia afirmativa que den los resultados de tal manera que se convierten en una construcción teórica a la que no se le da sentido como herramienta para interpretar la realidad, y se transforma en un *objeto* que se debe asimilar completo. En ese sentido, un cambio en la base textual deberá implicar, también, un cambio en las figuras retóricas: un modelo de ciencia problemático da sentido a plantear preguntas iniciales que transformen la situación enunciativa y le den sentido al establecimiento de relaciones más complejas, de alto nivel, y a la aplicación de estas relaciones en contextos en que el lector tome un rol más activo para elaborar explicaciones.

Bibliografía

Adam, J. M. (1992). *Les textes types et prototypes. Récit, description, argumentation, explication et dialogue*. Paris: Nathan.

Astolfi, J. P. (1988). El aprendizaje de los conceptos científicos: aspectos epistemológicos, cognitivos y lingüísticos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 147- 155.

Bruner, J., Goodnow, J. y Austin, A. (1956). *A study of thinking*. New York: Wiley.

Calsamiglia, H. y Tusón, A. (2004). *Las cosas del decir*. *Manual de análisis del discurso*. Barcelona: Ariel.

Combettes, B. (1988). Fonctionnement des nominalisations et des appositions. *Pratiques*, 58, 107-119.

Flores, F. y Gallegos, L. (1993). Consideraciones sobre la estructura de las teorías científicas y la enseñanza de la ciencia. *Perfiles educativos*, 62.

Glaser, B. y Strauss, A. (1967). *The discovery of grounded theory*. New York: Aldine.

Graesser, A. C. y Goodman, S. M. (1985). Implicit knowledge, question answering, and the representation of expository text, Britton y Black (Eds.): *Understanding Expository Text*. Hillsdale, New Jersey. LEA. 109-171.

Izquierdo, M. (2005). Las estructuras retóricas de los libros de texto. *Tarbiya: Revista de investigación e innovación educativa*, 36, pp. 11-34.

Izquierdo, M. y Aliberas, J. (2004). *Pensar, actuar i parlar a la classe de ciències*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona. Material 173.

Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: A construction-integration model. *Psychological Review*, 95 (2), 163 – 182.

Lawson, A. (1994). Uso de los ciclos de aprendizaje para la enseñanza de destrezas de razonamiento científico y de sistemas conceptuales. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 165 – 187.

Mayer, R.E. (1985). *El futuro de la psicología cognitiva*. Madrid: Alianza.

Monereo, C. (1990). Las estrategias de aprendizaje en la educación formal: enseñar a pensar y sobre el pensar. *Infancia y aprendizaje*, 50, 3 – 25.

Novak, J.D. y Gowin, D.B. (1988). *Aprendiendo a aprender*, Martínez Roca: Barcelona.

Perales, F. (1993). El constructivismo en la didáctica de las ciencias. Luces y sombras. *XIV Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Cáceres.

Prat, A. (2000). Habilidades cognitivolingüísticas y tipología textual. En Jorba, J., Gómez, I. y Prat, I. (Eds.) *Hablar y escribir para aprender, 51-72.* Barcelona: Síntesis.

Prat, A. e Izquierdo, M. (2000). Función del texto escrito en la construcción de conocimientos y en el desarrollo de habilidades. En: J. Jorba, I. Gómez y A. Prat (Eds.) *Hablar y escribir para aprender,* 73-112, Barcelona. España: Síntesis.

Solaz-Portolés, J. J. (2001). Propuesta de un test para detectar concepciones alternativas sobre el vacío. *Revista de Educación*, 326, 261 – 276.

Stegmüller, W. (1979). *Teoría y experiencia*. Ariel, Barcelona.

Thagard, P. (1992). Conceptual revolutions. En: Tobin, K. y Tippin, D. (Eds.) *Constructivism as a referent for teaching and learning*. Princeton: Princeton University Press.

Van Dijk, T. A. (1997). *La ciencia del texto*. Barcelona: Paidós.

Van Dijk, T. A. y Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York: Academic Press.

Capítulo 11

EPISTEMOLOGÍA, HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LAS CIENCIAS: UN PUENTE ENTRE LA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA Y LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

María Gabriela Lorenzo y Andrea Soledad Farré
Universidad de Buenos Aires, Facultad de Farmacia y Bioquímica,
Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica, Argentina,
glorenzo@ffyb.uba.ar

"La química Orgánica actual está a punto de enloquecerme. Se me figura como un bosque tropical primigenio lleno de las cosas más notables, una selva infinita y terrible en la que uno no se atreve a penetrar porque parece que no hay salida" (Friedrich Wöhler, 1835).

1. Saber, investigar y enseñar ciencias: ¿son acciones incluyentes o excluyentes?

No parece ser lo más frecuente que los profesores de ciencias naturales (digamos química, física, biología y otras disciplinas emparentadas con ellas) hayan recibido formación respecto a los diferentes desarrollos de la asignatura que enseñan ni sobre los diversos modos en que los conocimientos disciplinares se fueron construyendo. En el mejor de los casos, habrán recibido alguna instrucción sobre historia de las ciencias en general que como todo lo general, necesariamente deja afuera la especificidad del propio campo disciplinar. En consecuencia, la imagen de ciencia que pueden comunicar estos profesores resulta normativa y restrictiva, bastante alejada de los contextos culturales, sociales o políticos, contrariamente a lo recomendado por los investigadores de didáctica de las ciencias (Quintanilla, Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2007).

Esta situación es común a todos los niveles educativos, pero resulta más preocupante o al menos llamativo, en el nivel universitario, donde se presupone que los docentes se encuentran muy próximos, cuando no formando parte de manera directa, con la construcción de conocimiento de la propia disciplina que enseñan.

Aceptando el riesgo de una generalización exagerada, la enseñanza de las ciencias naturales, sin distinción de niveles ni de fronteras, suelen reflejar una concepción de ciencia consolidada en las primeras décadas del siglo XX mostrando una imagen estática y definitiva (y correcta) del conocimiento. No es hasta entrado el siglo XXI, que los profesores de ciencias naturales, parecen haber comenzado a involucrase con otros saberes de su disciplina que trasciendan los impostergables hechos, datos y teorías de su ciencia. Por otros saberes, nos estamos refiriendo a los saberes metacientíficos que nos aportan las metaciencias como la *epistemología, la historia, y la filosofía de las ciencias (EHFC)*.

Merino, C., Arellano, M., Adúriz-Bravo, A (Eds.) *Avances en didáctica de la química: modelos y lenguaje.*
© 2014. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Impreso en Valparaíso, Chile.

Es decir, ciencias que estudian a la propia ciencia con lo cual la enriquecen, a la vez que nos ayudan a comprenderla en toda su extensión.

La historia de la ciencia a la que solemos tener acceso suele presentar un planteamiento esencialmente biográfico, fundada en unos conocimientos enciclopédicos que muestran a la ciencia (la occidental y europea) como la búsqueda de la verdad objetiva resaltando las figuras estelares como Copérnico, Vesalio, Galileo, Newton, Lavoisier, Darwin, y Einstein.

> *"Lo natural es describir los acontecimientos clave refiriéndose a la obra de los individuos que marcaron un hito en la ciencia […]. Pero esto no significa que la ciencia haya avanzado como resultado de una serie de genios insustituibles dotados de una visión especial de cómo funciona el mundo"* (Gribbin, 2003, p. 11).

Para el caso particular de la química y de las disciplinas que buscan el conocimiento metaquímico, nos encontramos que por un lado, existe una historia de la química basada en la descripción de hechos relevantes y los grandes descubrimientos (Asimov, 1975, Esteban Santos, 2001) que remonta sus orígenes a las prácticas alquímicas con las connotaciones negativas que muchas veces esto implica, y que no logra diferenciarse del todo de otros campos de conocimiento, como la física, cuando se relatan los trabajos de Dalton sobre la estructura atómica, o la fisiología con sus orígenes en la Iatroquímica de Paracelso. En la literatura se considera que la primera obra que distingue entre químicos y alquimistas es *El químico escéptico* (1661) publicada por Boyle, que da inicio a la química como "ciencia seria y respetable" (Gellón, 2007). Por otro lado, encontramos que la filosofía de la química es una disciplina incipiente con fecha de nacimiento reciente a finales del siglo XX (Scerri y McIntyre, 1997). No debe sorprendernos entonces, que el metaconocimiento químico no sea moneda corriente ni entre los químicos ni entre los profesores de química.

Convencidas del valor que estos saberes aportan a la formación científica, profesional y humana de los individuos es que, emulando al químico y pedagogo alemán F. Whöler (1800-1882), nos adentramos en esta selva virgen en busca de nuevos conocimientos.

En este capítulo intentaremos mostrar cómo estas distintas ramas del conocimiento pueden configurarse en un sistema rico y complejo que nutren a la didáctica de las ciencias y por tanto contribuyen al trabajo de investigación en el área así como en la enseñanza de las ciencias.

Si bien la revista *Science Education* comenzó a editarse en 1916, la consolidación de la didáctica de las ciencias como una disciplina autónoma fue recién a partir de la década de 1980, cuando se logró alcanzar un marco conceptual común, una comunidad de científicos altamente relacionada y también, la capacidad de pensarse a sí misma (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2002). Podemos entonces, pensar a la didáctica de las ciencias abordando a su objeto de estudio –la enseñanza de las ciencias– nutrida por y conectada con otras disciplinas con las cuales entabla un diálogo permanente y mutuamente enriquecedor. En la Figura 1, inspiradas en Duit (2006) intentamos ejemplificar estas interrelaciones para un caso mucho más específico como es la didáctica de la química orgánica.



Figura 1. Relaciones entre la Didáctica de la Química Orgánica y otras disciplinas.

El conocimiento disciplinar aunque no es condición suficiente, es imprescindible para construir lo que se ha dado en llamar el Conocimiento Didáctico del Contenido (Farré y Lorenzo, 2009, Shulman, 1986). Del mismo modo, son necesarios los aportes de la *didáctica general* y la *psicología del aprendizaje*, sobre todo los aportes del cognitivismo social que nos ayudan pensar en los modos y en las dificultades con que los estudiantes comprenden y aprenden los contenidos de la enseñanza. En el caso de la química, la historia nos ayuda además a comprender entre otras cosas, el significado de las representaciones para las fórmulas químicas como herramientas comunicacionales surgidas en la mente encarnada (Pozo, 2001). Fueron los cuerpos de los químicos que nos precedieron los que percibieron e interpretaron los signos naturales (Eco, 1998) y luego redescribieron y explicitaron sus representaciones creando ciertos artefactos culturales de vital importancia para la química actual.

Dejaremos de lado muchas otras disciplinas (por ejemplo, la sociología y la lingüística) de las cuales nos valemos los didactas de la ciencia porque, en este capítulo nos centraremos en la importancia que tienen *EHFC* a la hora de repensar la ciencia que enseñamos reconociendo los temas relevantes y su naturaleza, comprendiendo las formas en que se fue construyendo históricamente el conocimiento, los diferentes modos de validación del conocimiento científico, el rol de la explicación y las distintas formas de representación de los conocimientos.

En realidad, está claro que se puede saber o investigar en una ciencia (química, por ejemplo) y no por ello ser buenos profesores de química. También es cierto que teniendo los contenidos mínimos de química puede enseñarse la materia sin necesidad de llevar adelante ningún tipo de investigación. No obstante creemos que aquel que domine los “tres elementos” de manera integrada e interactiva, no sólo será un mejor profesor sino también un mejor científico. En lo que sigue intentaremos mostrar cómo hacer converger estas tres acciones: saber, investigar y enseñar ciencias.

1.a. La investigación en didáctica de las ciencias y EHFC

La didáctica de las ciencias tiene que ver con la planificación, la ejecución y la evaluación de la enseñanza de las ciencias en base a un planteamiento teórico. Es decir, se la puede caracterizar como una *ciencia de diseño*, como una ciencia aplicada que, por un lado, produce conocimiento sobre la enseñanza de las ciencias y por otro, intenta que ese conocimiento repercuta de un modo positivo en la práctica áulica (Estany y Izquierdo, 2001).

El concepto de transposición didáctica es uno de los aspectos clave a ser considerado por los investigadores en didáctica de las ciencias para pensar en cómo la ciencia debería ser enseñada. La idea de transposición hace referencia a las transformaciones sufridas por el conocimiento desde el "saber sabio" hasta el "saber enseñado" (Chevallard, 2005). Este concepto surgido desde la didáctica de la matemática trascendió las fronteras impactando tanto en la didáctica de las ciencias como en la didáctica general. La distancia existente entre estos saberes permite realizar la vigilancia epistemológica sobre los saberes a enseñar, reflexionar sobre el concepto desde un contexto diferente al del descubrimiento sin perder su verdadera identidad:

> *"Para el didacta, es una herramienta que permite recapacitar, tomar distancia, interrogar las evidencias, poner en cuestión las ideas simples, desprenderse de la familiaridad engañosa de su objeto de estudio"* (Chevallard, op. cit. p. 16).

Una estrategia para tomar esta distancia, para poder interrogarse sobre el "saber enseñado" y su correspondencia o no con el "saber sabio" es recurrir a *EHFC*. Es decir, el investigador se pregunta sobre los contenidos que se enseñan, sobre su surgimiento, la forma en que se validaron y sobre los modos en que fueron incluidos en las aulas a lo largo del tiempo. Se interroga además sobre cómo tales o cuáles ideas o conceptos se transformaron en palabras, símbolos y en los distintos tipos de representaciones que luego se estructuran en una explicación (Erduran, 2005, Gallego y Gallego, 2007).

Al aproximarnos al estudio de EHFC debemos estar atentos a que la historia puede ser contada de diversos modos. Uno de ellos es el conocido como Whig o anacrónico, que muestra las ideas científicas con carácter lineal, de continuidad acumulativa del conocimiento, planteando el avance de la ciencia en términos positivistas. En la misma línea, los sucesos históricos suelen relatarse sobresimplificados y hasta distorsionados, contribuyendo así a reforzar los estereotipos del sentido común sobre la ciencia y el trabajo de los científicos. Ejemplos de esta situación son la exageración del drama de los descubrimientos científicos, la selección de algunos hechos y protagonistas y no de otros, y la representación de los científicos como "héroes" (de Rezende y Celestino, 2007).

En contraposición a esta mirada, la historia que aquí nos interesa es aquella que implica una visión diacrónica, contextualizada de la ciencia, que considera a un mismo tiempo las dimensiones temporoespaciales, sociales, políticas y culturales. Esta es una historia que no impone al pasado los patrones del presente, y por tanto no evalúa a la ciencia de épocas pretéritas, a la luz y con referencia al conocimiento actual. Un modo intermedio es la historia recurrente, que revela el modo en que los conceptos emergen unos de otros por una secuencia de correcciones o rectificaciones (Tosh, 2003, Chamizo, 2007).

En cualquier caso, no deberíamos olvidar que toda interpretación histórica implica una posición epistemológica del historiador, ya sea que la asuma de forma consciente o no (Lombardi, 1997).

1.b. EHFC en la enseñanza y en la formación del profesorado

Algo que llamó la atención de los investigadores en didáctica de la ciencia al tomar distancia de su objeto de estudio fue justamente la escasez de contenidos relacionados con *EHFC* en la enseñanza, dado que en general, la ciencia se sigue presentando a los alumnos como un conocimiento acabado, inmutable y con definiciones unívocas (Schummer, 1998).

La insistencia de la incorporación de contenidos de *EHFC* a la enseñanza ha sido reconocida desde comienzos del siglo XX (Niaz, 2005). Los motivos que se esgrimían entonces y que continúan vigentes para una enseñanza de la ciencia histórica, epistemológica y filosóficamente informada pueden encontrarse según Lombardi (2009) en tres niveles diferentes: epistemológico-metacientífico, conceptuales-científicos y motivacionales-psicológicos. En otras palabras, la incorporación de EHFC a la enseñanza pone de manifiesto el carácter cambiante y perfectible de la ciencia haciéndola más humana. Al mismo tiempo, promueve un mayor aprendizaje de los contenidos científicos al mejorar su comprensión y al hacer de las clases un espacio más estimulante y reflexivo debido a su poder transformador (Matthews, 1994, Erduran, 2001) Sin embargo esto no ocurre. Por tanto, para cambiar lo que ocurre en las aulas, y aunque parezca una obviedad, diremos que es necesario que los profesores estén preparados para el cambio. Para ello habrá que ofrecer propuestas y alternativas tanto en la formación inicial como en la capacitación de los profesores en servicio que contengan un fuerte *componente metacientífico* que incluya a EHFC, para promover la reflexión sobre los saberes de la disciplina y acercarse a ellos de otra manera. Este enfoque se ha llamado *instrumental* debido a su *funcionalidad*, dado que implican una contribución tangible a la práctica profesional (Adúriz-Bravo y Estany, 2002, Erduran, y cols., 2005).

Hasta aquí, hemos expresado dos ideas potentes. La primera es que EHFC son necesarias para la investigación en didáctica de las ciencias; y segunda, la necesidad de incluir EHFC en la formación y capacitación de profesores. Para no quedarnos en una mera enunciación de intenciones, en los dos apartados que siguen expondremos cómo EHFC han contribuido en nuestras investigaciones en didáctica de la química orgánica y a su vez, cómo esta investigación en particular se tradujo (o transpuso) e impactó en las prácticas docentes.

2. Una investigación historiográfica en didáctica de la química

Aún hoy, en la era de la virtualidad y los soportes electrónicos, los libros de texto continúan vigentes. Son parte de los materiales curriculares que ordenan la práctica áulica y moldean el curriculum de las asignaturas, actuando además como un reservorio de conocimientos al cual recurren docentes y alumnos (Campanario, 2001, Frigerio, y cols., 1991, Garritz, 2006, Gimeno y Pérez, 1994).

Al mismo tiempo, podemos añadir que los libros de texto no son ideológicamente neutros (Fourez y

Mathy, 1998) ya que implican posiciones en cuanto a las concepciones sobre el aprendizaje, la enseñanza y la naturaleza de la ciencia que inciden fuertemente sobre nuestra propia imagen de ciencia y su funcionamiento, el rol del descubrimiento, la invención y el avance científico (Kuhn, 1999).

Dado que el lenguaje de los libros de texto actuales es impersonal, literal, preciso, correspondiente a hechos aceptados en el seno de la comunidad científica, se hace necesario un amplio nivel de conocimientos previos para poder inferir la información implícita omitida en el texto (Sutton, 1997, Myers, 1992). No obstante, en la práctica universitaria se considera que los libros de texto acompañan el aprendizaje autónomo de los estudiantes bajo el supuesto de que los alumnos poseen las competencias retóricas y los conocimientos para aprender leyendo los complejos contenidos incluidos en los textos (Sánchez Miguel y col. 2002).

En particular, los libros de texto de química tienen un origen relativamente reciente en la historia del conocimiento. Los primeros tratados fueron escritos con la intención principal de dar a conocer los resultados de investigación de los autores más que con un fin pedagógico. Hacia finales del siglo XIX, el crecimiento de los saberes disciplinares, el establecimiento de mayores acuerdos entre la comunidad de científicos y la necesidad de formar recursos humanos especializados, poco a poco dieron lugar a la publicación de los libros de texto. A medida que estos nuevos textos intentaban compilar la mayor cantidad de información disponible adquirieron un matiz enciclopédico cada vez más alejados de los escenarios de investigación (Chamizo, 2005).

Paralelamente los libros fueron incorporando una mayor cantidad y diversidad de información gráfica tales como ecuaciones (matemáticas, químicas), diagramas, esquemas, y distintos tipos de fórmulas químicas, lo que obliga a los estudiantes a dominar ciertas estrategias específicas para decodificarla conocidas como "alfabetización gráfica" o *graphicacy* (Postigo y Pozo, 2000, Wu y col., 2001). A pesar de que diversos estudios sobre el procesamiento de este tipo particular de información han puesto de manifiesto las dificultades que conllevan su aprendizaje y los procesos de visualización requeridos para su interpretación (Pozo y Lorenzo, 2009, Gilbert, 2005, Mayer, 1993) la información gráfica suele ser apenas comentada en el texto (lo mismo hacen los libros de Física y de Biología) dando por sentado que su lectura y comprensión resulta sencilla, cuando no obvia, para el estudiante-lector.

En síntesis, según supuestos generales ampliamente aceptados, aunque no necesariamente ciertos, los libros de texto organizan los cursos y relatan verdades fácilmente comprensibles a partir de la lectura. Por ello es que son un recurso invaluable que requiere ser redescubierto tanto si se desea comprender mejor las prácticas educativas en el nivel universitario como en lo que respecta a la formación de profesores. Los libros de texto son una excelente puerta de entrada a la investigación de las didácticas específicas.

Si bien, la didáctica de la química orgánica en el nivel superior no es un área inexplorada conserva todavía mucho territorio por recorrer. Esto presenta sus ventajas y desventajas. Entre las principales ventajas está que como aventureros del conocimiento, hay mucho por conocer y por descubrir (por usar una metáfora arqueológica). Pero, sin embargo las desventajas también son muchas. No hay mapas trazados ni metodologías que nos aseguren el éxito de nuestra misión, ni consagrados ex-

pertos que nos guíen en cualquier ocasión. Es por tanto, un terreno ganado (no sin cruentas luchas) a otros latifundios del conocimiento, que necesita ser desmalezado para poder ser luego cultivado (usando ahora una metáfora agrícola).

Entre los temas por explorar se encuentran el benceno y los compuestos aromáticos, contenido indiscutible de cualquier curso de básico de química orgánica (en la universidad). Este capítulo de la química orgánica suele introducirse con alguna referencia histórica tanto por los profesores en clase como por los libros de texto, tal vez porque el benceno ha sido un representante problemático en cuanto a la dilucidación de su estructura molecular.

En esta línea nuestro trabajo de investigación consistió en analizar los capítulos de catorce libros de texto universitarios de química orgánica destinados al tratamiento del tema la estructura del benceno, todos publicados en idioma castellano en el período 1920-2004. Realizamos un estudio historiográfico cualitativo, descriptivo e interpretativo con un enfoque diacrónico longitudinal para cada texto con el objeto de detectar las transposiciones sufridas por el contenido a lo largo del tiempo.

Para dicho análisis nos basamos tanto en la información verbal como en la información gráfica incluidas en el desarrollo del tema (Farré y Lorenzo, 2010)

En trece de los catorce libros encontramos referencias históricas para explicar la estructura del benceno y el concepto de aromaticidad. La importancia otorgada a los aspectos históricos varía según los textos. En la mayoría cumplían una función introductoria, en algunos son muy breves o se presentan con una tipografía diferenciada y de menor tamaño, sugiriendo un carácter anecdótico y prescindible de la información presentada; mientras que en otros, les dedican todo un capítulo. También los marcos conflictivos y controversias existentes sobre la estructura del benceno en el momento de publicación del libro aparecen en algunos de ellos. Al tratar el problema de la dilucidación estructural del benceno, la mayoría de los autores lo relatan como un desafío al que debieron enfrentarse los químicos. Hasta los años ´60, el problema se planteaba como un conocimiento en construcción, con cuestiones por resolver y merecedor de un gran interés por parte de los químicos. En concordancia, los textos utilizan un lenguaje evasivo, expresando incertezas y faltas de consenso. Por el contrario, en las ediciones más actuales, la estructura del benceno se presenta como un hecho consumado, con palabras precisas, con datos acreditados, evidenciando una mayor certeza en los conocimientos.

Otro indicador es la superestructura del texto que también sufrió modificaciones a lo largo del tiempo. Se pasa de relatos inicialmente narrativos a textos con un mayor carácter expositivo que directamente omiten al científico detrás de la idea perdiendo con ello el rico conjunto de elementos y situaciones que justificaron el desarrollo y el predominio de ciertas teorías por sobre otras. Los recursos discursivos utilizados pretenden ser objetivos, ya que se utiliza el presente del indicativo como tiempo verbal predominante, así como también las nominalizaciones y la voz pasiva. Esta pretensión es mucho más evidente en los textos editados a partir de 1969. No obstante, en todos los textos analizados el o los autores se hacen presentes en la enunciación, en general de modo implícito actuando como evaluadores de la información que presentan. Independientemente de la relación que establezcan con el alocutario y del tipo de argumentación utilizada, se destaca la utilización de

subjetivemas del tipo: *sorprendente,* conocimiento *mejor fundado, semejante* suposición*, difícilmente, desconcertantes*, que los aparta de la supuesta objetividad científica (Kerbrat-Orecchioni,1986). Sin embargo, un lector poco entrenado podría llegar a confundirse y creer que lo que está leyendo representa verdades atemporales y neutrales, sin una ideología, epistemología o filosofía que lo enmarquen.

La narrativa de los libros más antiguos exhibe el trabajo de los científicos como una actividad colaborativa discutiendo los experimentos que contaron como pruebas. Casi entrando a los ´70, aquellos experimentos cruciales casi han desaparecido para dar lugar a una historia juzgada con los valores y conocimientos del presente como se trasluce en frases como: *"No todas las deducciones primitivas fueron tan seguras e incluso algunas resultaron erróneas* […]"[1] o *"[…] los químicos de comienzos del siglo XIX tenían razón […]*[2]*"*.

Los diversos personajes que protagonizaron la historia del desarrollo de la estructura del benceno también resultan otro indicador valioso para el análisis de los textos. Por ejemplo, a partir de 1945, la figura del célebre químico alemán, Kekulé (1829-1896) adquiere renombre para luego perderlo en los libros más recientes. Por otro lado, no todos los científicos que realizaron contribuciones relevantes al desarrollo teórico del tema (como Pauling y Coulson) se mencionan en los textos analizados (Brush, 1999a, 1999b).

Tanto la naturaleza de la química, como el desarrollo científico se presentan de diferentes modos de acuerdo con la época de publicación del libro haciéndose más dogmática y acabada con el correr de los años. La historiografía Whig y el protagonismo de unos pocos científicos provocan la construcción de una idea deshumanizada, descontextualizada, lineal y causal sobre la naturaleza de la ciencia. Aunque no aparecen referencias explícitas sobre el quehacer científico, en muchos de los textos analizados se menciona que las hipótesis se *demuestran*, *confirman*, *comprueban*, prueban, o *verifican experimentalmente*, y que obedecen a observaciones. No obstante, aunque parezca contradictorio a primera vista, los mismos textos que defienden afirmaciones positivistas, también presentan ideas más próximas a una visión de la naturaleza de la ciencia de mayor actualidad. Así por ejemplo, algunos destacan el carácter consensuado de los conocimientos, que las hipótesis son contrastadas mediante la experiencia, que se pueden postular hipótesis adhoc después que resultados experimentales refuten la hipótesis original. Un dato revelador en esta línea lo constituye la explicitación del valor que tienen las políticas editoriales en el desarrollo de la actividad científica, como cuando comentan que: "Sin embargo, Liebig, que era entonces director de la más importante revista química y cuya opinión ejercía un sobresaliente influjo sobre los químicos contemporáneos […]" (Fieser y Fieser, 1948, p. 513). Otros destacan la estrecha relación entre ciertos desarrollos científicos y los intereses tecnológicos.

Este crisol de concepciones epistemológicas podría interpretarse como una falta de conocimientos o de interés por parte de los autores para reflexionar sobre estas cuestiones; o podría deberse a que

---

1 Fieser y Fieser, 1966, p. 1111.

2 Mc Murry, 2004, p. 49.

un mismo individuo, en este caso el autor o los autores, puede sostener visiones contradictorias. Este rasgo no debería ser pasado por alto porque nos lleva a preguntarnos si se trata de una causa o de una consecuencia de la mirada que algunos químicos tienen sobre su propia disciplina.

A pesar de los años transcurridos desde la postulación inicial del concepto de aromaticidad, las controversias persisten hasta nuestros días (Krigowski y otros, 2000). Inicialmente la aromaticidad aparecía definida con criterios puramente químicos, pero veinte años más tarde el desarrollo de las teorías de la física cuántica y la química teórica habían ganado el terreno. Muchos químicos de hoy pretenden explicar la totalidad de la química a partir de la mecánica cuántica lo que conduce a una representación de los fenómenos químicos reducida ontológica y epistemológicamente a la física cuántica (Labarca, 2005).

Otro indicador valioso y altamente significativo en los textos de química se manifiesta por los diferentes tipos de información gráfica y representaciones utilizadas y las razones que justifican su uso. Las fórmulas utilizadas en los libros de texto refuerzan la imagen de ciencia que presentan. Los más antiguos muestran una mayor proximidad con los desarrollos empíricos de la época, por tanto existe una menor hegemonía entre las representaciones. En las ediciones siguientes, existe un primer consenso que favorece a la fórmula de Kekulé que incluye la hipótesis de electrones oscilantes. Luego esto cambia y se indica que el par de fórmulas de Kekulé es la mejor representación para el benceno, aunque no implica un movimiento de electrones.

A partir de 1985, el problema de las notaciones en química se hace explícito en cuanto a las dificultades que aparecen al intentar re-presentar los conceptos teóricos provenientes del mundo submicroscópico de la química en una representación gráfica; por ejemplo, algunos parecen confundir la representación con la estructura que se intenta representar.

Para ilustrar esta diversidad de representaciones en la Figura 2 mostramos distintas alternativas postuladas para la estructura del benceno encontradas en los distintos libros analizados, indicando sobre la flecha el año de edición.

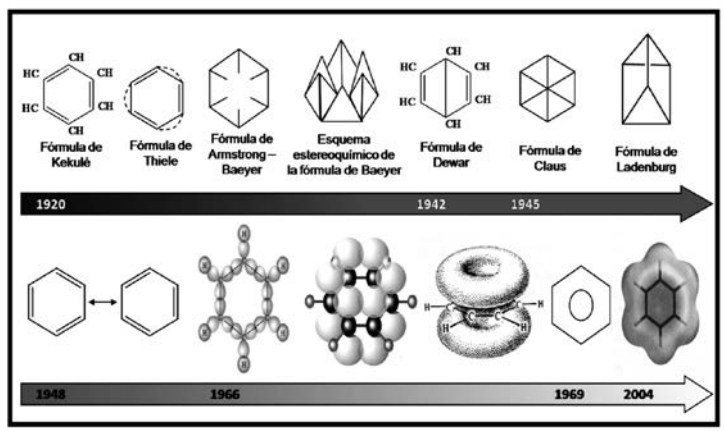


Figura 2. Distintas representaciones para la estructura del benceno.

3. De la investigación científica al trabajo en el aula: redescubriendo los libros de texto como un recurso para la capacitación de profesores de ciencias naturales

Como hemos mostrado en el apartado anterior, el estudio del desarrollo de cierto tema en textos de diferentes ediciones permite reconstruir el camino que recorrieron las ideas hasta llegar a constituirse en hechos científicos o al menos aproximarnos (Farré, Rossi y Lorenzo, 2010). En este sentido creemos que dicho intento de reconstrucción es formativo en sí mismo; y si bien es recomendable la lectura de fuentes primarias y secundarias, no es estrictamente necesario para una actividad de capacitación. Por tanto y dado que es deseable que los docentes posean una amplio conocimiento disciplinar más allá del contenido a enseñar, consideramos la revisión de los libros de texto y sus aportes EHFC como una estrategia para la capacitación docente.

A continuación describiremos en forma breve nuestra experiencia en cursos de capacitación de profesores de ciencias naturales, que se desempeñan en los niveles secundario, universitario y de formación de profesores.

A lo largo del dictado de diferentes cursos[3] hemos ido recabando información en el marco de una metodología de investigación acción fundamentalmente a través de tres mecanismos: 1) memorias de los alumnos, relatos que los capacitandos debían ir construyendo y guardando en un dossier para ir reflexionando sobre su desempeño, logros y obstáculos a lo largo del curso. 2) Registros audiograbados y observaciones no participantes durante las clases. Y 3) Encuestas de opinión. A partir de los datos recogidos evaluamos el impacto de la estrategia.

La estrategia didáctica se basa en la recursividad de una tarea inicial solicitada durante el primer encuentro e implica su reformulación progresiva a lo largo de todo el curso incorporando los aportes que se van desarrollando a lo largo de las diferentes clases. Aquí nos interesa especialmente la inclusión de los aspectos EHFC en la reformulación de la tarea. La estrategia consta de diferentes etapas:

a) Durante el primer encuentro, los alumnos del curso de capacitación deben diseñar una actividad de enseñanza sobre algún tema de libre elección de la asignatura que imparten. Esta actividad puede realizarse de manera individual o en pequeños grupos de hasta tres integrantes.

b) En una clase posterior (no necesariamente la siguiente) se presenta y se discute un marco teórico sobre algunas corrientes epistemológicas contemporáneas. Luego se plantea a los alumnos el desafío de identificar las posturas epistemológicas subyacentes en las prácticas de enseñanza de su asignatura para el tema elegido por ellos en el planteo de la actividad. Con este propósito, se implementa un trabajo práctico de indagación que consiste en analizar por lo menos dos libros de texto de la asignatura de diferente año de edición. De este modo, se revisa el tratamiento que los libros hacen del tema elegido para intentar reconocer la imagen de ciencia predominante en cada texto. Como guía para el análisis del texto se plantearon las categorías surgidas de la inves-

[3] Enseñar y aprender ciencias experimentales en contextos formales. Cursos 2009 (FFyB), 2010 (FFyB, UNNE), Didáctica de las Ciencias de la Salud (FFyB 2008, 2010), Didáctica de la Química (UNSa, 2008).

tigación historiográfica comentadas en el apartado anterior.

- *Las referencias históricas presentadas*. A veces suelen aparecer en los textos, como nota al margen o en algún tipo de recuadro con menor tipografía, algunos comentarios sobre quién o cuándo trabajó sobre el tema acompañado de alguna imagen tipo retrato del científico.
- *Las referencias a la investigación científica*. Aquí nos referimos a si se hace explícito en el texto los modos en que el conocimiento en cuestión fue construido, los obstáculos que debieron superarse hasta la consensualización de la idea.
- *Los modos de validación del conocimiento* que tienen en cuenta los aportes de la epistemología en cuanto a las justificaciones esgrimidas en los contextos de descubrimiento.
- *La finalidad de la ciencia* que no suele aparecer de forma explícita en los textos sino más bien oculta entre líneas, por lo que detectar estas ideas a través de ciertas palabras indicadoras se convierte en un ejercicio altamente motivador.

c) A partir de este primer análisis se plantea un estudio comparativo entre las imágenes de ciencia predominantes en cada texto.

d) Por último, cada grupo expone sus resultados y conclusiones al resto de la clase, los que se discuten en plenario coordinados por el docente del curso. Este debate, a través del intercambio de ideas y la explicitación de opiniones, permite avanzar sobre la importancia de los aportes históricos en la construcción del conocimiento.

La aplicación de esta estrategia historiográfica, con los libros de texto de las diferentes asignaturas aportados por los propios profesores tuvo un impacto muy positivo. A pesar del desconcierto inicial y las dificultades para encontrar los indicadores en los textos y atribuirles un significado en el plano analítico, finalmente los docentes fueron capaces de capitalizar lo que la nueva mirada para la lectura del texto les permitía descubrir. En general los profesores expresaron que la experiencia les había resultado muy interesante, ya que nunca habían investigado sobre la historia de un tema en particular, ni estudiado su tratamiento en los libros de esta manera. Algunas expresiones vertidas por los propios profesores se presentan como ejemplos de estas situaciones.

Un grupo de tres profesores de biología decidió reformular la actividad inicial y trabajar sobre el modelo de membrana plasmática porque:

> *"El modelo que se acepta en la actualidad data 1972 con lo cual resultaría un tema interesante para trabajarlo a la luz de el desarrollo científico y la epistemología."*

Además, agregaron que:

> *"…en los libros escolares, donde en general la única referencia histórica es al modelo propuesto por Singer sin ninguna mención a otro antecedente, y por lo tanto transmiten una imagen de ciencia totalmente descontextualizada y deshumanizada."*

Por último dicen:

> *"Comenzamos a buscar un texto que relatase la historia de las distintas investigaciones que llevaron al modelo de estructura de membrana que se acepta en la actualidad, para armar una actividad que le permitiese a los alumnos una visión contextualizada de la investigación científica."*

Al analizar los libros de química del nivel secundario, otro grupo relacionó la influencia que tienen los aportes de la didáctica de la ciencia en el nivel medio al detectar que los más antiguos consideraban una introducción histórica, que desaparecía en la década de 1980 y reaparecía en los actuales.

En el nivel universitario, los libros de asignaturas altamente especializadas como farmacología, farmacognosia e inmunología evidenciaron que los más antiguos tenían más referencias históricas que los actuales. Este dato fue interpretado por los propios docentes a causa de la "obviedad" con que esas referencias eran consideradas al día de hoy.

En particular, fue muy enriquecedor el trabajo que realizó un grupo sobre libros de inmunología, una ciencia consolidada a partir de los ´70, por lo que pudieron rastrearse fácilmente sus orígenes y sus supuestos iniciales en contraposición al conocimiento consensuado de hoy mostrando notorias inconsistencias y variaciones (ejemplo: variabilidad de los anticuerpos).

4. Reflexiones finales

La sociedad actual reclama que la investigación científica sea transferible y posea una capacidad transformadora. La didáctica de la ciencia no es ajena a este reclamo y por ello intentamos transformar el aula a través de enseñar enseñando. Sólo a través de la vivencia idiosincrásica de los profesores se podrá transformar la enseñanza con propuestas concretas para ofrecerles nuevas oportunidades para el aprendizaje a los estudiantes. Lo que aquí hemos intentado demostrar es la utilidad y versatilidad de una actividad pensada inicialmente como parte de un proceso de investigación científica, al ser aplicada como una estrategia para la capacitación de profesores en servicio.

Los libros de texto esconden mucho más de lo que un lector novel en la disciplina es capaz de detectar y también esconde algunos secretos a simple vista para aquellos científicos expertos que no hayan cultivado sus conocimientos metacientíficos. Por ello redescubrir la lectura de los libros de texto, de una manera recursiva se convierte entonces en una estrategia imprescindible para adentrarse en las profundidades del texto. Los profesores que habían leído una y otra vez los libros de su asignatura, y sin embargo, los aspectos históricos y epistemológicos habían quedado ocultos para ellos, hasta que como si fueran unas potentes gafas, los nuevos conocimientos les desvelaron los escondidos secretos.

El estudio historiográfico de los diversos desarrollos de un tema en diferentes textos, tan habitual en otras carreras como la psicología[4] por ejemplo, ilumina el camino sobre los modos en que las ideas

[4] Nos consta por haber observado clases en la Facultad de Psicología de la Universidad Autónoma de Madrid.

llegan a constituirse en hechos científicos por lo que resulta de gran utilidad para comprender las marchas y contramarchas del proceso científico. Esta comprensión es especialmente necesaria en el caso de los profesores de ciencias naturales poco entrenados en estos menesteres.

Es por eso que intentamos que a partir de nuestros cursos, los profesores sean profesionales más críticos y reflexivos, acercándose a los resultados e interrogantes que plantea la investigación didáctica.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado en el marco de los Proyectos UBACYT B-055(2008-2010), PICT 2005 N° 31947 FONCyT-ANPCyT y PIP (2010-2012): 11220090100028 CONICET.

Bibliografía

Adúriz-Bravo, A., y Izquierdo, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, 1* (3), 130-140, Disponible en: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen1/Numero3/Art1.pdf

Adúriz-Bravo, A. I., y Estany, A. (2002). Una propuesta para estructurar la enseñanza de la Filosofía de la Ciencia para el profesorado de ciencias en formación. *Enseñanza de las Ciencias , 20* (3), 465-476.

Asimov, I. (1975). *Breve historia de la Química*. Madrid: Alianza. Ed. 1995.

Brush, S. (1999a). Dynamics of theory change in chemistry: Part 1. The benzene problem 1865-1945. *Studies in History and Philosophy of Science, 30* (1), 21-79.

Brush, S. (1999b). Dynamics of theory change in chemistry: Part 2. The benzene problem 1945-1980. *Studies in History and Philosophy of Science, 30* (2), 21-79.

Campanario, J. M. (2001). ¿Qué puede hacer un profesor como tú o un alumno como el tuyo con un libro de texto como éste? Una relación de actividades poco convencionales. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(3), pp. 351-364.

Chamizo, J. A. (2005). We, teachers of chemistry, have become teachers of the history of chemistry… but which type of history must we teach? *8th International History and Philosophy of Science Teaching Group- International Conference*, Leeds. Disponible en: http://www.ihpst2005.leeds.ac.uk/papers/Chamizo.pdf

Chamizo, J. A. (2007). Teaching Modern Chemistry through 'Recurrent Historical Teaching Models'. *Science & Education, 16*, 197–216.

Chevallard, Y. (2005). *La transposición didáctica: Del saber sabio al saber enseñado* (3ra. ed., 2a reimp. ed.). (C. Guilman, Trad.) Buenos Aires, Argentina: Aique Grupo Editor.

de Jong, O. (1996). La investigación activa como herramienta para mejorar la enseñanza de la química: Nuevos enfoques . *Enseñanza de las Ciencias, 14* (3), 279-288.

de Rezende, C., y Celestino, C. (2007). History and nature of science in brazilian physics textbooks:

some findings and perspectives. *Ninth IHPST Conference*, Calgary. Disponible en: http://www.ucalgary.ca/ihpst07/proceedings/IHPST07%20papers/2122%20Silva.pdf

Duit, R. (2006). La investigación sobre enseñanza de las ciencias. Un requisito imprescindible para mejorar la práctica educativa. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, *11* (30), 741-770.

Eco, U. (1998). *Semiótica y Filosofía del Lenguaje* (Trad. al castellano Semiótica e filosofía del linguaggio (1984) ed.). Barcelona: Lumen.

Erduran, S. (2001). Philosophy of chemistry: An emerging field whith implications for chemistry education. En F. G. Bevilacqua (Ed.), *Science education and culture: The role of history and philosophy of science* (págs. 165-177). Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.

Erduran, S. (2005). Beyond philosophical confusion: Establishing the role of philosophy of chemistry in chemical education research. *8th International History, Philosophy and Science Teaching Conference,* Leeds. Disponible en: http://www.ihpst2005.leeds.ac.uk/papers/Erduran.pdf

Erduran, S., Adúriz-Bravo, A., y Mamlok-Naaman, R. (2005). Developing epistemologically empowered teachers: Examining the role of Philosophy of Chemistry in teacher education. *8th International History, Philosophy and Science Teaching Conference*, Leeds. Disponible en: http://www.ihpst2005.leeds.ac.uk/papers/Erduran_Aduriz_Mamlok.pdf

Estany, A., y Izquierdo, M. (2001). Didactología: Una Ciencia de diseño. *ÉNDOXA: Series Filosóficas,* 14, 13-33.

Esteban Santos, S. (2001). *Introducción a la historia de la química*, UNED, Madrid.

Farré, A. S., y Lorenzo, M. G. (2009). Conocimiento pedagógico del contenido: Una definición desde la Química. *Educación en la Química, 15* (2), 103-113.

Farré, A. S., y Lorenzo, M. G. (2010). Aportes de la historia, la epistemología y la filosofía en los libros de textos universitarios de química orgánica. Un estudio sobre el benceno. En F. e. Encontro, R. de Andrade, L. Lewowicz, J. C. Mesquita, y L. Al-Chueyr Pereira (Edits.). Campinas: AFHIC.

Farré, A., Rossi, A. y Lorenzo, M. G. (2010) La Historia y la Epistemología en los Libros de Texto: Un Recurso para la Capacitación de Profesores de Ciencias, *X Seminario Internacional de Didáctica de las Ciencias Experimentales.* Organizado por Grupo GRECIA y la Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, 21 al 23 de julio.

Fourez, G. y Mathy, P. (1998). Percibir la dimensión ideológica de la enseñanza de las ciencias, en G. Fourez, *Alfabetización científica y tecnológica* (págs. 205-219). Buenos Aires: Colihue.

Frigerio, G., Braslavsky, C. y Tiramonti, G. (1991). (comp.) *Curriculum presente, ciencia ausente. Tomo I: Normas, teorías y críticas.* Buenos Aires: Miño y Dávila.

Garritz, A. (2006). Naturaleza de la ciencia e indagacion: Cuestiones fundamentales para la educacion cientifica del ciudadano. *Revista Iberoamericana de Educacion*, 42, 127-152.

Gallego, A. P., y Gallego, R. (2007). Historia, Epistemología y Didáctica de las Ciencias: Unas relaciones necesarias. *Ciencia y Educación , 13* (1), 85-98.

Gellón, G. (2007). *Había una vez el átomo. O de cómo los científicos imaginan lo invisible.* Siglo XXI, Madrid.

Gilbert, J. (2005). Visualization: A metacognitive skill in science and science education. En: Gilbert, J. (ed.). *Visualization in Science Education* (págs. 9-27). Dordrecht: Springer.

Gimeno, J., y Pérez, Á. I. (1994). *Comprender y transformar la enseñanza*. Madrid: Ediciones Morata.

Gribbin, J. (2003). *Historia de la Ciencia 1543-2001.* Crítica, Barcelona.

Hoffmann, R., y Laszlo, P. (1991). Representation in Chemistry. *Angewandte Chemie International Edition in English , 30* (1), 1-16.

Kerbrat-Orecchioni, K. (1986). *La enunciación. De la subjetividad en el lenguaje,* Buenos Aires: Hachette.

Krygowski, T., Cyrañski, M., Czarnocki, Z. Häfelingerb, G. y Katritzkyc, A. (2000). Aromaticity: A theoretical concept of immense practical importance. *Tetrahedron, 56* (13), 1783-1796.

Kuhn, T. (1999). *La estructura de las revoluciones científicas*. 1ra Ed. México: Fondo de Cultura Económica.

Labarca, M. (2005). La filosofía de la química en la filosofía de la ciencia contemporánea. *Redes, 11* (21), 155-171.

Lombardi, O. (2009). El papel de la historia en la enseñanza de ciencias: Diferentes aspectos significativos. *Educación en la Química, 15* (1), 33-40.

Lombardi, O. (1997). La pertinencia de la historia en la enseñanza de las ciencias: Argumentos y contraargumentos. *Enseñanza de las Ciencias, 15* (3), 343-349.

Matthews, M. (1994). Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias: La aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias, 12* (2), 255-277.

Mayer, R. (1993). Comprehension of graphics in texts: an overview. *Learning and Instruction, 3* (3), 239-245.

Myers, G. (1992). Textbooks and the sociology of scientific knowledge. *English for Specific Purposes*, *11* (3), 3-17.

Niaz, M. (2005). ¿Por qué los textos de química general no cambian y siguen una 'retórica de conclusiones'? *Educación Química, 16* (3), 410-415.

Postigo, Y. y Pozo, J. (2004). On the road to graphicacy: The learning of graphical representation systems". *Educational Psychology, 24* (5), 623 - 644.

Pozo, J. (2001). *Humana mente. El mundo, la conciencia y la carne*. Madrid: Ediciones Morata.

Pozo, J. y Lorenzo, M. (2009). Representing organic molecules: the use of chemical languages by university students. En: Andersen, C., Scheuer, N., Pérez Echeverría, P. y Teubal, E. (eds.). *Representational Systems and Practices as Learning Tools in Different Fields of Knowledge* (págs. 243-266), London: Sense Publishers.

Quintanilla, M., Izquierdo, M., y Ardúriz-Bravo, A. (2007). Discusión en torno a una propuesta para introducir la historia de la ciencia en la formación inicial del profesorado de ciencias. En M. Izquierdo, A. Caamaño, y M. Quintanilla (Edits.), *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar* (págs. 173-196). Bellaterra, España: Universitat Autònoma de Barcelona.

Sánchez Miguel, E., González, A. y García Pérez, J. (2002). Competencia retórica. Una propuesta para interpretar las dificultades de comprensión, *Psicothema*, *14* (1), 77-85.

Schummer, J. (1998). The chemical core of Chemistry I: A conceptual approach. *HYLE. International Journal for Philosophy of Chemistry , 4* (2), 129-162.

Scerri, E. y McIntyre, L. (1997). The Case for the Philosophy of Chemistry, *Synthese*, 111, 213-232.

Shulman, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, *15* (2), 4-14.

Sutton, C. (1997). Ideas sobre la ciencia e ideas sobre el lenguaje. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 12, 8-32.

Tosh, N. (2003). Anachronism and retrospective explanation: In defence of a present-centred history of science. *Studies in History and Philosophy of Science, 34*, 647–659.

Wu, H., Krajcik, J. y Soloway, E. (2001). Promoting understanding of chemical representations: Students' use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38 (7), 821-842.



Este libro se terminó de imprimir
en el mes de junio de 2014.

View publication stats