

Pensamiento intuitivo y aprendizaje de la química

Alejandra García Franco¹ y Keith S. Taber²

ABSTRACT (Intuitive thinking and chemistry learning)

In this article we present exploratory results from an interpretive research project in which we asked secondary students (12-18 yrs) to explain and describe phenomena related to the particulate nature of matter. Answers are analyzed from a 'conceptual resources' perspective, rather than from the more common 'alternative conceptions' perspective. We present some potential 'phenomenological primitives' for chemistry learning that could be used by teachers to advance students' knowledge in this topic, rather than trying to challenge and modify them as usually suggested from the alternative conceptions framework.

KEYWORDS: chemistry learning, secondary science, particulate nature of matter, conceptual resources, phenomenological primitives

Introducción

Es ampliamente reconocido que los estudiantes llegan al salón de clases con concepciones distintas a las científicas y que éstas son resistentes a la enseñanza, estables e independientes del género y la cultura de los individuos (Wandersee, Mintzes y Novak, 1994). La perspectiva dominante para el análisis y descripción de estas concepciones ha sido la de las concepciones alternativas (Flores, 2004; Taber, 2006); desde ésta, algunos autores consideran las ideas de los estudiantes como marcos alternativos (Driver, Squires, Wood-Robinson y Rushworth, 1994), o bien como teorías mediante las cuales los estudiantes dan sentido a los fenómenos que se les presentan (Vosniadou, 1994; McCloskey, 1983).

Esta perspectiva, sin embargo, ha sido cuestionada por otros investigadores quienes han encontrado que las concepciones de los estudiantes no son tan estables como parecen y son altamente dependientes del contexto (Claxton, 1993). Por ejemplo, L. Viennot (1985) hacía notar, hace ya más de veinte años, que ciertas formas de interpretar las ideas de los estudiantes hacen que se pierdan datos importantes respecto a sus procesos de razonamiento. Del mismo modo, Smith, diSessa y Roschelle (1993) señalan que la perspectiva de las concepciones alternativas no da cuenta de la forma en la que

los estudiantes, partiendo de un conocimiento 'equivocado' (las concepciones alternativas), pueden construir concepciones y modelos más cercanos a los de la ciencia. Aunado a esto, investigaciones empíricas han cuestionado la estabilidad y la consistencia de estas concepciones alternativas al dar cuenta de que un mismo sujeto puede tener diferentes concepciones sobre un mismo fenómeno (*v.g.* Solomon, 1993; Caravita y Hallden 1994; Petri y Niedderer, 1998; Tytler 1998; Taber, 2001; Pozo y Gómez Crespo, 2005; Gallegos y Garritz, 2007).

Considerando los resultados de las investigaciones respecto a las concepciones de los estudiantes es posible afirmar que, *algunas veces*, los estudiantes tienen un conjunto de concepciones que usan para explicar un fenómeno de manera coherente y consistente, mientras que en otros temas o contextos diferentes, los estudiantes presentan una multiplicidad de concepciones para un mismo fenómeno. No se niega la existencia de las concepciones alternativas, ni se sugiere que el razonamiento de los estudiantes siempre muestra falta de coherencia y sistematicidad. Sin embargo, a partir de los resultados empíricos, "se cuestionan los marcos teóricos y metodologías relacionadas, que *presumen* dicha coherencia y sistematicidad (o eligen no investigarla de forma explícita), lo cual puede dar como resultado que se pasen por alto evidencias de la activación de elementos de conocimiento de grano más fino y sensibles al contexto" (diSessa, Elby & Hammer, 2003, p. 238).

En este artículo sugerimos que analizar las explicaciones que construyen los estudiantes desde una perspectiva diferente a la de las concepciones alternativas nos permite identificar 'elementos' de la estructura cognitiva que pueden ser utilizados para construir nociones más cercanas a las nociones científicas. Estos 'elementos' han sido reconocidos previamente como *primitivos fenomenológicos* (diSessa, 1993) o *recursos conceptuales* (Hammer, 2004) y han sido utilizados para explicar el aprendizaje de distintos conceptos en el área de la física.

¹ Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico. Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Exterior de Ciudad Universitaria. 04510, México, DF.

Correo electrónico: alejandra.garcia@ccadet.unam.mx

Teléfono: (55) 5622 8602 ext. 1160.

² Faculty of Education. University of Cambridge. 184 Hills Road, CB2 8PQ, Cambridge, UK.

Correo electrónico: kst24@cam.ac.uk

Fecha de recepción: 7 de mayo 2009.

Fecha de aceptación: 27 de noviembre 2009.



Figura 1. ¿Reconoces la cara en la fotografía?

Presentamos los resultados de un estudio exploratorio desarrollado a partir de esta perspectiva teórica en el área de la química, para analizar las ideas de los estudiantes desde una perspectiva diferente y explorar su potencial en el proceso de enseñanza.

El papel de la intuición y la percepción en la construcción de las concepciones

La mayoría de nosotros estamos familiarizados con las figuras ambiguas que se encuentran en las colecciones de ilusiones ópticas: la silueta que puede ser un pato o un conejo, o la ilustración que puede representar una vieja mendiga o una joven sofisticada. O bien, con las figuras que pueden representar patrones sin significado hasta que en un instante logramos encontrar una forma que entonces se vuelve obvia y difícil de ignorar. También tendemos a sobre-interpretar patrones, por ejemplo, cuando vemos caras en las nubes o conejos en la luna.

La mayoría de los lectores no encontrará nada extraño en la figura 1, una foto de la costa de Norfolk; sin embargo, una vez que ha reconocido la cara en las nubes, se volverá difícil no verla más.

La forma en la que los niños recién nacidos responden a las caras y a patrones simples que las representan, sugiere que algunos de nuestros sistemas de reconocimiento de patrones son innatos y se han establecido en nuestros cerebros a través de la evolución. Sin embargo, durante la mayor parte del tiempo en el que los seres humanos han evolucionado, no han tenido educación formal en el área de química, de forma que estos sistemas de reconocimiento de patrones no son útiles para reconocer la Tabla Periódica, los multipletes de un espectro RMN o la fórmula estructural de los esteroides. La investigación sugiere que, tal y como ocurre con la cara inexistente en las nubes (figura 1), el cerebro tiende a encontrar patrones aun cuando no es lo más apropiado. Dado que éste es un proceso intuitivo que actúa a nivel inconsciente, se vuelve peligroso: podemos decidir que no hay un gigante escondiéndose en las nubes, pero seguimos viendo su cara.

Los investigadores del área de la enseñanza de la física han sugerido que cuando los estudiantes llegan a la escuela han desarrollado una 'física intuitiva' (diSessa, 1993), es decir, han aprendido a reconocer patrones recurrentes que permiten explicar el mundo físico. Estos patrones se han llamado 'primitivos fenomenológicos' o *p-prims*. Un patrón común es la noción de que una acción es producida por algún tipo de agente que actúa sobre un objeto mediante un instrumento (Ogborn y Bliss, 1990). Un ejemplo es un jugador de tenis que le pega a una pelota mediante una raqueta.

Desafortunadamente para los maestros de ciencias, algunas de las 'intuiciones físicas' de los estudiantes son inconsistentes con la física de la inercia (los cuerpos continúan su movimiento a menos que algo se interponga en su camino); del movimiento circular (no un movimiento 'natural', sino una forma de movimiento acelerado que requiere una fuerza centrípeta), y de la acción-reacción (las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en direcciones opuestas). Por ello, una buena parte del esfuerzo de los profesores de física se invierte tratando de cambiar la forma de pensar de los estudiantes, del razonamiento de 'sentido común', con el que construyen el mundo cotidianamente, a la manera en que la física formal lo describe y lo explica (Pozo y Gómez Crespo, 1998).

A primera vista pudiéramos pensar que la química sufre menos de este problema; la física trata con fenómenos familiares para los estudiantes como las pelotas rodando o proyectándose y puede explicarse en contextos en los que los estudiantes han desarrollado intuiciones para explicar lo que pasa (como las patinetas y las bicicletas). La mayoría de la química, sin embargo, se explica en términos de moléculas e iones, electrones y orbitales. Dado que éstas son entidades teóricas que no tienen relación con la experiencia cotidiana, es poco probable que los estudiantes lleguen a la escuela con concepciones acerca de las configuraciones electrónicas más estables o los estados de oxidación variables.

Sin embargo, es evidente que los estudiantes tienen muchas 'concepciones alternativas' en el área de la química y pueden incluso desarrollar marcos conceptuales distintos a

los de la química escolar (Taber, 1998). Esto es también de esperarse a partir de la teoría de los primitivos fenomenológicos; aun cuando los estudiantes se enfrentan a fenómenos y conceptos que no son familiares para ellos utilizan mecanismos intuitivos para interpretar lo que se enseña en términos de patrones como los que se han descrito.

Dándole sentido a las ideas de los estudiantes

La perspectiva de los primitivos fenomenológicos es más optimista que la de las concepciones alternativas acerca de las ideas de los estudiantes, porque aun cuando éstas sean 'incorrectas' desde el punto de vista científico, pueden interpretarse como combinaciones inapropiadas de recursos conceptuales más fundamentales. En sí mismos estos recursos conceptuales (o primitivos fenomenológicos) no son correctos o incorrectos, y concepciones más cercanas a las científicas podrían reconstruirse al seleccionar o reconfigurar estos recursos de forma adecuada. La idea de los recursos conceptuales como elementos que configuran las concepciones alternativas ha sido explorada por distintos investigadores en el área de la enseñanza de la física (diSessa, 1993; Hammer, 1996b; Hammer, 2004), y recientemente ha probado ser útil también para analizar algunas concepciones en el área de química (Taber y Tan, 2007).

La postulación de primitivos fenomenológicos como parte de la estructura cognitiva de los estudiantes permite explicar la inconsistencia y la variabilidad de las concepciones de los estudiantes (Hammer, 2004). Cuando se cuenta con un patrón estable de pensamiento para un tema particular, este patrón se activa para seleccionar la información que se presenta, y elegir los aspectos del fenómeno que son relevantes. Pero, en ausencia de un patrón estable de pensamiento, la información considerada relevante puede modificarse con cada pregunta o ejemplo, construyendo respuestas *in situ* a partir de los primitivos fenomenológicos o recursos conceptuales.

La teoría de los primitivos fenomenológicos sugiere que aun la enseñanza más cuidadosa de la química puede ser malinterpretada por los estudiantes, generando toda clase de concepciones alternativas, pero también puede darnos algunas pistas sobre cómo enseñar química utilizando estos mecanismos intuitivos para construir nociones más cercanas a las nociones científicas. Algunos ejemplos de concepciones reportadas en la literatura sugieren que existe un mecanismo intuitivo que se activa al tratar de explicar un fenómeno determinado. Por ejemplo, los estudiantes asumen la noción de que una capa completa de electrones da estabilidad a los átomos y utilizan este principio mucho más allá del rango válido de aplicación. Esto podría relacionarse con una intuición más básica acerca de la integridad estructural relativa de las cosas que están completas y llenas, comparada con la de aquellas que están incompletas o vacías.

Es probable entonces que los estudiantes lleguen a la clase de química con mecanismos intuitivos que se utilizan para interpretar lo que se enseña de forma que coincida con los patrones que se reconocen y con las expectativas acerca de

cómo funciona el mundo. Si los estudiantes comparten un conjunto de primitivos fenomenológicos que son mediadores de todo lo que ven y oyen, identificar estos patrones podría ser una herramienta poderosa para los maestros y maestras.

La naturaleza corpuscular de la materia como contexto para la investigación

Para esta investigación presentamos a los estudiantes fenómenos que se relacionaran con la naturaleza corpuscular de la materia porque es una de las áreas conceptuales claves en el aprendizaje de la química y porque existen muchas investigaciones al respecto (*u.g.* Renstrom, Andersson y Marton, 1990; Stavy, 1995; Mortimer, 1998; Harrison y Treagust, 2002; Gómez Crespo y Pozo, 2004; Gallegos y Garritz, 2007). La mayoría de las concepciones que se han encontrado en estos estudios se relacionan con la tendencia de los estudiantes de interpretar el mundo microscópico en términos macroscópicos (Talanquer, 2006) y con la dificultad de interpretar los fenómenos observables en términos de las interacciones entre átomos y moléculas (Gómez Crespo, 2005). Entre las concepciones más comunes reportadas en este tema se encuentran (Harrison y Treagust, 2002):

- Las propiedades macroscópicas (dureza, conductividad, color, etc.) se atribuyen a las partículas.
- Las partículas se consideran estáticas.
- No se reconoce la existencia del vacío.

Investigando primitivos fenomenológicos en química

Los datos que se presentan en este artículo provienen de un proyecto de investigación interpretativa, basado en datos cualitativos que fueron recogidos mediante 46 entrevistas semi-estructuradas con estudiantes de nivel secundaria (12-18 años) en el área de Cambridge, Inglaterra, y forman parte de una investigación más amplia sobre el aprendizaje de la química (García Franco, 2007). Se utilizó una aproximación analítica iterativa para codificar e interpretar los datos (Glaser & Strauss, 1999; Strauss & Corbin, 1998; Taber, 2000), con base en los supuestos teóricos derivados de la teoría de primitivos fenomenológicos propuesta por diSessa (1993) y desarrollada posteriormente por Hammer (2004).

Las entrevistas se hicieron siguiendo el modelo de 'entrevistas acerca de instancias' y 'entrevistas acerca de eventos' (White y Gunstone, 1992). En las entrevistas acerca de eventos, éstos se presentan a los estudiantes y se hace una discusión a partir de la presentación, mientras que en las entrevistas acerca de instancias se presenta a los estudiantes un dibujo o bien se le describe una situación y la entrevista se lleva a cabo a partir de esta presentación. Estas entrevistas permiten que los estudiantes expliciten su conocimiento, al enfrentarse a la necesidad de utilizarlo para describir y explicar un fenómeno o una instancia. Para el presente estudio, la mayoría de los fenómenos eran presentados a los estudiantes; por ejemplo, se añadían cristales de permanganato de potasio o de sal común a un vaso con agua destilada y se pedía a los

estudiantes que describieran el fenómeno y explicaran por qué ocurría de esa forma. En algunos casos se pedía a los estudiantes que pensarán en una situación; por ejemplo, en el caso de la difusión de los gases, se pedía que explicaran de qué forma el aroma de cebolla friéndose logra expandirse por toda la casa.

Se utilizaron un total de 14 fenómenos diferentes que se relacionan con diversos aspectos de la naturaleza corpuscular de la materia, que se enseñan en la escuela secundaria, como las mezclas y disoluciones, cambios de estado y reacciones químicas. Algunos de estos fenómenos son: difusión de un colorante en agua, disolución de cristales de sal y cristales de permanganato de potasio, mezcla de volúmenes equivalentes de alcohol y agua, reacción de cloruro de sodio con nitrato de plata, reacción entre vinagre y bicarbonato de sodio (utilizando un indicador), derretimiento de un hielo y evaporación de agua. Dado el carácter exploratorio de este estudio, en cada entrevista se presentaban alrededor de cinco fenómenos distintos.

Los modelos científicos que permiten explicar estos fenómenos se relacionan con las interacciones entre distintas moléculas, iones y la forma en la que éstos se estructuran, así como con el movimiento de estas partículas. Cuando los estudiantes no hacían ninguna referencia a las partículas (átomos, iones, moléculas) en sus explicaciones, se les pedía de forma explícita que lo hicieran, al sugerirles, por ejemplo: "si pensarás que está formado por pequeñas partículas, ¿te ayudaría a explicar mejor?". El tipo de explicaciones que los estudiantes dan y el nivel en el que incorporan el modelo de partículas se ha presentado en otro estudio (García Franco y Taber, 2009).

Las respuestas de los estudiantes fueron muy diversas y, en general, similares a las reportadas en estudios previos sobre la forma en la que los estudiantes utilizan el modelo de partículas para explicar los fenómenos. En este caso, las respuestas de los estudiantes fueron analizadas para identificar algunas evidencias de que los estudiantes explican los fenómenos a partir de patrones como los que se han descrito anteriormente. La identificación de estos patrones no es una tarea sencilla porque el proceso es subconsciente (por tanto no verbal) y una vez que se ha construido dicho patrón, éste se vuelve un aspecto permanente del pensamiento. Para identificar dichos patrones utilizamos la heurística propuesta por diSessa (1993).

Resultados

Encontramos algunos elementos de las explicaciones de los sujetos que pueden considerarse como primitivos fenomenológicos y que se describen a continuación, acompañados de algunos ejemplos de las entrevistas para que los lectores puedan identificar por qué un cierto tipo de explicación puede representar un patrón de pensamiento o primitivo fenomenológico. Un análisis más detallado de estos primitivos, así como ejemplos que recuperan todo el contexto en el cual los estudiantes expresaron estas respuestas, requiere un espacio mucho mayor del que se dispone en este artículo y ha sido publi-

cado en otro sitio (García Franco, 2007; Taber y García Franco, en prensa). Nuestra intención es dar a los lectores algunos ejemplos de estos primitivos o patrones de pensamiento que, si bien son resultado de un estudio exploratorio, podrían ser útiles para comprender los procesos de aprendizaje de la ciencia.

Primitivos fenomenológicos

El componente determina las propiedades

Una idea común entre los estudiantes es que las propiedades de los materiales provienen específicamente de alguno de sus componentes. Un estudiante de 12 años, por ejemplo, sugirió que el agua adquiere un color morado cuando se añaden cristales de permanganato de potasio porque éstos 'liberan tinta'.

Frecuentemente es apropiado explicar las propiedades de un material como causa de los componentes que lo forman, pero cuando se aplica como principio general puede dar lugar a las concepciones alternativas comunes de acuerdo con las que los átomos y las moléculas tienen las mismas propiedades que la sustancia que componen ('los átomos de cobre son rojizos y maleables'). Un estudiante de 14 años, al observar la formación de un precipitado (producto de una reacción entre cloruro de sodio y nitrato de plata), aseguró que el sólido formado es la plata porque 'ése es el metal... la plata es definitivamente un metal'.

De forma que más que considerar sistemas de sustancias y partículas que interactúan, algunos estudiantes perciben los fenómenos químicos como el resultado de la presencia de un único componente. Una estudiante de 12 años expresó que lo que hace que el agua se vuelva turbia al añadir sal es 'suciedad' (en este caso particular, es posible mostrar que la turbidez puede evitarse si se utiliza agua desgasificada y que por lo tanto no proviene de la sal).

Un cambio requiere un agente activo

El principio general de que todo efecto tiene una causa es muy útil en la ciencia. Sin embargo, en química los cambios muchas veces ocurren sin existir causas externas. Si se añade un pigmento al agua, ambos se mezclarán debido a la difusión, que puede explicarse en términos del movimiento de las partículas y de la energía interna de los materiales. Sin embargo, algunos estudiantes parecen buscar intuitivamente un agente externo que explique el fenómeno. Algunos estudiantes a los que se presenta el colorante difundiendo en el agua sugieren que la disolución debe estar calentando, a pesar que no existe una fuente de calor evidente.

En otro ejemplo, un estudiante de 16 años sugiere que el oxígeno cambia a dióxido de carbono al ser quemado en el fuego. Explica que 'el oxígeno cambia a dióxido de carbono bajo la influencia del fuego y el calor'. El estudiante comparó este fenómeno con la forma en la que "la diferencia de densidades puede hacer que algo se transforme en un material diferente... si pones mucha presión en algo, eventualmente se volverá

un diamante. Pienso que solamente se vuelve más denso por la acción de la presión". Así, ante la dificultad para concebir las interacciones entre las partículas como responsables de los cambios, se consideran agentes físicos como causantes de los cambios en los materiales, incluso si éstos son cambios químicos.

Existe un agente activo

Para algunos estudiantes, la interacción implica un agente pasivo y un agente activo. Los estudiantes comprenden las mezclas y las reacciones químicas identificando uno de los reactivos como el que *hace cosas* al otro. Así, el proceso de disolución se interpreta como la acción del agua (activa) sobre el soluto (pasivo), por ejemplo, uno de los estudiantes de 13 años explicó que 'el agua lo erosiona y lo lava'. Un estudiante de 14 años explicó el efecto de añadir una disolución de nitrato de plata a una disolución de cloruro de sodio en términos del nitrato como una 'sustancia más fuerte'.

Lo que ocurre de forma natural

También encontramos que varios estudiantes expresan que algunas sustancias reaccionan de forma 'natural' porque *está* en su naturaleza hacerlo. En muchas ocasiones, los estudiantes no buscan explicaciones porque consideran que está en la naturaleza de la mezcla o de la sustancia comportarse de la forma en la que lo hacen. De manera similar, algunos de los entrevistados esperaban que ciertos sistemas cambiaran de ciertas formas y veían esto de forma teleológica. Algunos estados finales de los sistemas eran vistos como *naturales* y ésa era razón suficiente para que el cambio ocurriera. Por ejemplo, un estudiante explica que la reacción de neutralización ocurre para que un ácido pueda 'balancearse' con la sustancia alcalina. O bien, en el caso de la difusión de un colorante en agua, un estudiante explica: "*Creo que es difusión, es como si estas partículas están buscando (...) solamente se mueven y gradualmente se difunden, tratan de llenar todo el espacio y (...) bueno, no tratan, pero de manera natural empiezan a tomar todos los espacios...*"

Implicaciones para la enseñanza de la química

Las explicaciones de los estudiantes que encontramos en este estudio están en consonancia con las concepciones alternativas que se han encontrado en estudios previos y parecieran estar basadas en formas comunes de pensar acerca del mundo que, de hecho, pueden ser muy útiles en muchas situaciones cotidianas. Sin embargo, estas formas de comprender la química pueden ocupar el lugar de las explicaciones que se enseñan en la clase, generando problemas para maestros y estudiantes. De acuerdo con Watts y Taber (1986), cuando los estudiantes tienen una comprensión intuitiva de los fenómenos, es probable que no tengan ninguna necesidad de buscar una explicación formal, y la enseñanza puede malinterpretarse para 'acomodar' estas intuiciones.

Identificar las nociones intuitivas de los estudiantes sobre los fenómenos químicos puede dar ideas a los maestros sobre

cómo desarrollar estas intuiciones y construir el conocimiento químico a partir de ellas. Por ejemplo, una estudiante de 15 años se sorprendió al darse cuenta de que cuando se añaden 25 mL de agua a 25 mL de alcohol, la mezcla resultante ocupa un volumen menor que 50 mL. Este resultado es contraintuitivo y al intentar encontrar una explicación la estudiante sugirió: 'Hubiera dicho que iba a absorber algo, pero no sé cómo dos líquidos se absorben entre ellos'. Esta noción de que un material se puede absorber en otro tiene potencial para desarrollarse en términos de un modelo de partículas para los líquidos que puede compararse con la estructura porosa de un sólido absorbente, de forma que más que tratar de cambiar las concepciones de los estudiantes se propone utilizarlas para desarrollarlas y encontrar los contextos específicos en los que se aplican.

De forma similar, tomamos con mucha reserva la idea de que las interacciones químicas son el resultado de una sustancia activa, pero es claro que estas formas de pensamiento pueden ser útiles para desarrollar la comprensión sobre los procesos de desplazamiento. Un estudiante de 14 años, por ejemplo, sugirió que las burbujas que se ven cuando la sal se disuelve en agua pudieran ser porque: 'el hidrógeno o el oxígeno [del agua] han sido desplazados por el cloruro de sodio y han sido virtualmente sacados de ahí porque el otro es más grande y más reactivo'. En esta aseveración hay muchos errores conceptuales y podría clasificarse como una concepción alternativa; sin embargo, la conceptualización del estudiante ofrece un punto de partida útil para el maestro o maestra, quien puede trabajar a partir de ella para desarrollar un modelo para la reacción química más cercano al modelo científico.

En este sentido, coincidimos con Hammer (1996a y b) quien sugiere que la forma en la que los maestros conceptualizan las ideas de los estudiantes (como concepciones alternativas o como primitivos fenomenológicos) repercute directamente en las acciones que deciden tomar frente a las respuestas de los alumnos y en las actividades que proponen.

Los resultados de esta investigación sugieren que el pensamiento de los estudiantes carece de consistencia y éstos no parecen estar aplicando un marco de referencia más general de causalidad, como el que ha sido sugerido por otros autores (Groetzer, 2003; Andersson, 1986), para interpretar los fenómenos. Identificar si estas concepciones son resultado de la aplicación de un marco de causalidad más general requeriría de estudios más a profundidad y en un periodo de tiempo más largo, en los que se pudiera analizar la coherencia y consistencia de las respuestas de los estudiantes respecto a un número mayor de fenómenos y no solamente en una ocasión, como en el presente estudio.

El trabajo realizado hasta el momento es exploratorio y, por tanto, provisional. Nuestra intención principal era indagar sobre la utilidad de la noción de los primitivos fenomenológicos en el área de la química. Nuestros resultados sugieren que esta aproximación puede tener futuro y que los primitivos fenomenológicos que presentamos pueden ser vistos como conjeturas o hipótesis para ser verificados posteriormente: ¿Se

encuentran en otros estudiantes?, ¿qué proporción de los y las estudiantes los utilizan?, ¿qué tan consistentemente son utilizadas por los estudiantes?

Si las investigaciones posteriores apoyan estos hallazgos iniciales, podríamos comprender de mejor manera por qué los estudiantes desarrollan concepciones alternativas en el área de la química y por qué (muy frecuentemente) retienen estas ideas aun después de la enseñanza. Además, si se encuentra que la mayoría de los estudiantes utiliza ciertos patrones intuitivos de pensamiento, entonces se requiere investigar de qué forma se puede enseñar química utilizando estos poderosos mecanismos de aprendizaje, más que tratar de erradicarlos de la mente de los estudiantes.

¿Qué pueden hacer maestras y maestros?

Por el momento, solamente podemos dar recomendaciones generales a los maestros para que consideren que estos mecanismos que actúan de forma inconsciente pueden llevar a los estudiantes a desarrollar una comprensión intuitiva de la química inconsistente con el conocimiento que se pretende desarrollar. Dentro de estas recomendaciones podemos mencionar:

Enfocarse en las explicaciones. Preguntar de forma constante a los estudiantes que expliquen qué está pasando en un proceso químico y por qué. Buscar contraejemplos y fallas lógicas en sus explicaciones y trabajar en ellas con los estudiantes.

Utilizar contextos diversos. Escoger los fenómenos que se presenten a los estudiantes de manera cuidadosa, de forma que puedan ayudarles a 'ver' las cosas de formas específicas. Comparar las explicaciones para diferentes fenómenos y ayudarlos a notar las diferencias y las semejanzas. En particular, presentar a los estudiantes diferentes contextos para un mismo fenómeno, por ejemplo, disolver líquidos en líquidos y sólidos en líquidos; pedirles que noten las semejanzas y las diferencias (aun cuando los fenómenos pueden ser equivalentes desde el punto de vista de los profesores, esto no es evidente desde el punto de vista de los estudiantes).

Poner atención al lenguaje. Estar muy atentos al lenguaje de los estudiantes. Particularmente cuando lo que parece ser una frase imprecisa puede revelar el tipo de pensamiento que hemos identificado. Frecuentemente los estudiantes han aprendido palabras químicas específicas (disolver, reaccionar, neutralizar) pero aún no han construido un significado claro para ellas. Pedir a los estudiantes que expliquen estos términos sin utilizar la palabra específica puede ayudar a clarificar el significado de las palabras e identificar el tipo de patrones que los estudiantes están usando para comprender los fenómenos.

Finalmente, es necesario recordar que la mayoría de los químicos y los maestros y maestras de química han logrado modificar sus intuiciones de forma que los patrones de pensamiento sobre la causa y el efecto en química se convierten en las explicaciones 'naturales'. Esto sugiere que mientras consideremos cuidadosamente el pensamiento de nuestros estu-

diantes acerca del mundo material, y actuemos en consecuencia, deberíamos ser capaces de ayudarles a desarrollar intuiciones químicas apropiadas también.

Agradecimientos

Esta investigación fue realizada con el apoyo del CONACyT bajo el proyecto 43918-H. Agradecemos a la Facultad de Educación de la Universidad de Cambridge y a Homerton College que brindaron todo el apoyo a la primera autora durante su estancia en dicha universidad.

Este trabajo es parte de la tesis doctoral de la primera autora, quien agradece al Dr. Fernando Flores Camacho por los aportes teóricos que forman parte de lo que aquí se presenta. Este estudio exploratorio, como ha sido presentado aquí, siguió discutiéndose y analizándose, y dará lugar a publicaciones posteriores.

Referencias

- Andersson, B., The experiential gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science, *European Journal of Science Education*, 8(2), 155–171, 1986.
- Caravita, S. y Hallden, O., Re-framing the problem of conceptual change, *Learning and Instruction*, 4, 89–111, 1994.
- Claxton, G., Minitheories: a preliminary model for learning science. En: P. J. Black, A. M. Lucas (eds.), *Children's Informal Ideas in Science* (pp. 45–61), London: Routledge, 1993.
- diSessa, A., Toward an epistemology of Physics, *Cognition and Instruction*, 10(2-3), 105–225, 1993.
- diSessa, A. A., Elby, A., y Hammer, D., J's epistemological stance and strategies. En: G. M. Sinatra, P. R. Pintrich (eds.), *Intentional Conceptual Change* (pp. 237-290), Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, 2003
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., y Wood-Robinson, V., *Making sense of secondary science. Research into children's ideas*. London: Routledge, 1994.
- Flores, F., El cambio conceptual: interpretaciones, transformaciones y perspectivas, *Educ. quím.*, 15(3), 256–269, 2004.
- Gallegos, L. y Garritz, A., Modelos conceptuales de los estudiantes sobre estructura de la materia: de los perfiles individuales a los grupales. En: J. I. Pozo y F. Flores (eds.), *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia* (pp. 175–194). Madrid: Editorial Antonio Machado Libros, 2007.
- García Franco, A., *Representaciones múltiples de la estructura de la materia en estudiantes de secundaria y bachillerato*. Tesis de doctorado no publicada. Facultad de Filosofía y Letras: Universidad Nacional Autónoma de México, 2007.
- García Franco, A. y Taber, K. S., Secondary students' thinking about familiar phenomena: learners' explanations from a curriculum context where 'particles' is a key idea for organising teaching and learning, *International Journal of Science Education*, 31(14), 1917–1952, 2009.
- Glaser, B. y Strauss, A., *The discovery of grounded theory*. 1st ed., New York: Aldine de Gruyter, 1967.

- Gómez-Crespo, M. A., *Aprendizaje e instrucción en química. Cambio en las representaciones de los estudiantes acerca de la materia*. Tesis de doctorado no publicada. Facultad de Psicología: Universidad Autónoma de Madrid, 2005.
- Gómez-Crespo, M. A. y Pozo, J. I., Relationships between everyday knowledge and scientific knowledge: understanding how matter changes, *International Journal of Science Education*, **26**, 1325–1344, 2004.
- Grotzer, T. A., Learning to understand the forms of causality implicit in scientifically accepted explanations, *Studies in Science Education*, **39**, 1–74, 2003.
- Hammer, D., More than misconceptions: Multiple perspectives on student knowledge and reasoning, and an appropriate role for education research, *American Journal of Physics*, **64**(10), 1316–1325, 1996a.
- Hammer, D., Misconceptions or p-prims: how may alternative perspectives of cognitive structure influence instructional perceptions and intentions?, *Journal of the Learning Sciences*, **5**(2), 97–127, 1996b.
- Hammer, D., The variability of student reasoning. Lecture 3. Manifold Cognitive Resources. En: E. Redish, M. Vicentini (eds.), *Proceedings of the Enrico Fermi Summer School, Course CLVI*. Bologna: Sociedad Italiana de Fisica, 2004.
- Harrison, A. G. y Treagust, D. F., The particulate nature of matter: challenges in understanding the submicroscopic world. En: J. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D.F. Treagust, y J. Van Driel (eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 189–212), Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- McCloskey, M., Naive theories of motion. En: D. Gentner y A. Stevens (eds.), *Mental Models* (pp. 229–324), Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1983.
- Mortimer, E. F., Multivoicedness and univocality in the classroom discourse: an example from theory of matter, *International Journal of Science Education*, **20**, 6782, 1998.
- Ogborn, J. y Bliss, J., A psycho-logic of motion, *European Journal of Psychology of Education*, **4**, 379–390, 1990.
- Petri, J. y Niedderer, H., A learning pathway in high-school level quantum atomic physics, *International Journal of Science Education*, **20**(9), 1075–1088, 1998.
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A., *Aprender y Enseñar Ciencias*. Madrid: Morata, 1998.
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A., The embodied nature of implicit theories: the consistency of ideas about the nature of matter, *Cognition and Instruction*, **23**, 351–387, 2005.
- Renstrom, L., Andersson, B., y Marton, F., Students' conceptions of matter, *Journal of Educational Psychology*, **82**, 555–569, 1990.
- Smith, J. P., diSessa, A. A., y Roschelle, J., Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition, *Journal of the Learning Sciences*, **3**(2), 115–163, 1993.
- Stavy, R., Conceptual development of basic ideas in chemistry. En: S. Glynn, R. Duit (eds.), *Learning Science in the Schools: Research Reforming Practice* (pp. 131–154). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1995.
- Solomon, J., The social construction of children's scientific knowledge. En: P. L. Black (ed.), *Children's informal ideas about science* (pp. 85–101). London: Routledge, 1993.
- Strauss, A. y Corbin, J., *Basics of qualitative research*, 2nd ed. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 1998.
- Taber, K. S., An alternative conceptual framework from chemistry education, *International Journal of Science Education*, **20**(5), 597–608, 1998.
- Taber, K. S., Case studies and generalisability – grounded theory and research in science education, *International Journal of Science Education*, **22**(5), 469–487, 2000.
- Taber, K. S., Shifting sands: a case study of conceptual development as competition between alternative conceptions, *International Journal of Science Education*, **23**(7), 731–753, 2001.
- Taber, K. S., Beyond constructivism: The progressive research programme into learning science, *Studies in Science Education*, **42**, 125–184, 2006.
- Taber, K. S. y Tan, K. C. D., Exploring learners' conceptual resources: Singapore A level students' explanations in the topic of ionisation energy, *International Journal of Science and Mathematics Education*, **5**, 375–392, 2007.
- Taber, K. S. y García Franco, A., Learning processes in chemistry. Drawing upon cognitive resources to learn about the particulate structure of matter, *Journal of the Learning Sciences*, en prensa.
- Talanquer, V., Common sense chemistry: A model for understanding students' alternative conceptions, *Journal of Chemical Education*, **83**, 811–820, 2006.
- Tytler, R., The nature of students' informal science conceptions, *International Journal of Science Education*, **20**, 901–927, 1998.
- Viennot, L., Analyzing students' reasoning: Tendencies in interpretation, *American Journal of Physics*, **53**, 432–436, 1985.
- Vosniadou, S., Capturing and modelling the process of conceptual change, *Learning and Instruction*, **4**, 45–69, 1994.
- Wandersee, J., Mintzes, J. y Novak, J., Research on alternative conceptions in science. En: D. Gabel (ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (pp. 177–210). New York: MacMillan, 1994.
- Watts, M. y Taber, K. S., An explanatory gestalt of essence: students' conceptions of the 'natural' in physical phenomena, *International Journal of Science Education*, **18**(8), 939–954, 1986.
- White, R. y Gunstone, R., *Probing understanding*. New York: Falmer Press, 1992.