

Aprovechando que sobre este tema versaron los artículos de la sección DE ANIVERSARIO del número 3 de julio-septiembre de 2004, incorporamos en este número este artículo de Vicente Talanquer, el cual no es un artículo invitado, sino uno con arbitraje ordinario que nos llegó por la vía del autor.

El químico intuitivo

Vicente Talanquer*

Abstract

The Intuitive Chemist: The large number and diversity of alternative conceptions in chemistry makes it difficult for teachers to identify any patterns in their students' thinking. A thorough analysis of alternative conceptions in chemistry has led to the identification of a set of intuitive principles and reasoning heuristics that may explain many of the students' ideas about chemical substances and phenomena. The identification of this principles and heuristics may help teachers better understand and even predict learning difficulties in the chemistry classroom.

Introducción

El reconocimiento de que los alumnos construyen ideas sobre el funcionamiento de la Naturaleza mucho antes de llegar a una clase de ciencias ha dado lugar a una fructífera línea de investigación en la enseñanza de las ciencias (Wandersee, Mintzes y Novak, 1994). En los últimos veinticinco años se han publicado cientos de artículos sobre las ideas previas de los alumnos en diversas disciplinas científicas, principalmente física, química y biología (Duit, 2004; Flores, 2004). Estos trabajos han mostrado que los conceptos y modelos desarrollados por los estudiantes muchas veces difieren de los aceptados por la comunidad científica. Las investigaciones también indican que las concepciones de los estudiantes son difíciles de modificar y tienden a permanecer inalteradas durante la instrucción. Estas "ideas previas" han recibido una multitud de nombres en la literatura sobre el tema: concepciones alternativas, preconcepciones, concepciones erróneas, concepciones espontáneas, ciencia intuitiva, entre otras. A partir de este punto me referiré a ellas como "concepciones alternativas", por ser el término preferentemente usado por los expertos en el área.

Los trabajos de investigación sobre concepciones alternativas en el área de la química son sumerosos (Andersson, 1990; Nakhleh, 1992; Garnett, Garnett y Hackling, 1995; Taber, 2002; Gilbert, 2002; Duit, 2004; Flores, 2004; Kind, 2004). Muchos de ellos se han centrado en las concepciones de los alumnos sobre la naturaleza corpuscular de la materia, pero existen importantes estudios en una gran variedad de

temas: los conceptos de mol y cantidad de sustancia, estequiometría, reacción química, cambios de estado de agregación, conservación de la materia, ácidos y bases, enlace químico, termoquímica, estructura molecular y polaridad, equilibrio químico y electroquímica. Aunque la gran mayoría de estos trabajos han sido realizados con estudiantes de los niveles pre-universitarios, hay evidencias que señalan que concepciones alternativas similares persisten en una importante proporción de los alumnos en niveles escolares más avanzados.

Para el docente de química, el conocimiento de las diversas concepciones alternativas de los estudiantes es una pieza clave de lo que se ha denominado el conocimiento pedagógico del contenido (*pedagogical content knowledge* o PCK en inglés.) (Shulman, 1986; Talanquer, 2004; Garritz y Trinidad, 2004). Este tipo de saber incluye el conjunto de ideas, ejemplos, modelos, analogías y metáforas que el docente posee en su área de especialidad y que le permiten construir variadas representaciones didácticas de un concepto o diseñar experiencias educativas que promueven el aprendizaje significativo. Un docente que reconoce que sus estudiantes de tercer año de secundaria muy probablemente conciben al "calor" como un fluido, puede utilizar este conocimiento para comunicarse mejor con sus estudiantes y para diseñar actividades que promuevan el cambio conceptual. Un profesor que desconoce las posibles concepciones alternativas de sus alumnos puede fácilmente utilizar un lenguaje o presentar ejemplos que las refuercen.

Sin embargo, resulta prácticamente imposible que el docente conozca y reconozca cada una de las diversas concepciones alternativas que sus alumnos poseen sobre cada uno de los conceptos o ideas que se cubren en un curso tradicional de química. Aunque existe una sorprendente consistencia y generalidad en la naturaleza de las ideas previas de estudiantes de diferentes países, con diferentes edades, y provenientes de diferentes estratos socioeconómicos (Wandersee, Mintzes, y Novak, 1994), el catálogo de las ideas previas detectadas es enorme y crece día con día. Adicionalmente, si bien se han escrito buenos trabajos de compilación de las concepciones alternativas más comunes en química (Andersson, 1990; Nakhleh, 1992; Garnett, Garnett y Hackling, 1995; Taber, 2002; Kind, 2004; Flores, 2004), ninguno de ellos las presenta organizadas en un esquema que permita identificar patrones generales que simplifiquen la labor docente. Es quizá de esta problemática que surge una las críticas más feroces al trabajo de investiga-

* Department of Chemistry, University of Arizona. Tucson, AZ 85721 (vicente@u.arizona.edu)

Recibido: 9 de mayo de 2005; aceptado: 15 de agosto de 2005.

ción sobre concepciones alternativas en la enseñanza de las ciencias: de acuerdo, sabemos que están ahí y podemos catalogarlas, pero bien a bien no sabemos qué hacer con ellas. Por un lado son terriblemente resistentes al cambio y, por otro, no hay docente que pueda lidiar con todas ellas.

Desde esta perspectiva, el objetivo central de este artículo es presentar un abordaje alternativo para la descripción y el análisis de las concepciones alternativas de los estudiantes de química. La intención es ofrecer una herramienta de trabajo para los docentes en esta área, que no sólo simplifique el análisis de las ideas previas de los alumnos, sino ayude a predecir posibles dificultades conceptuales y sirva de guía en el diseño de actividades que faciliten su resolución. La presente propuesta está basada en el análisis riguroso de una gran proporción de las concepciones alternativas en química reportadas en la literatura de investigación en esta área.

Marco de referencia

El presente análisis parte de la siguiente hipótesis: *una gran proporción de las concepciones alternativas de los estudiantes de química son el resultado de la aplicación de razonamiento guiado por el "sentido común"* (Driver, Guesne, y Tiberghien, 1985; Driver *et al.*, 1994; Viennot, 2001). Este tipo de razonamiento se basa en una serie de suposiciones sobre la naturaleza del mundo que nos rodea, y en el uso de estrategias de razonamiento que simplifican la toma de decisiones y la construcción de inferencias con base en la información disponible (Pozo y Gómez-Crespo, 1998; Furió y Furió, 2000; Campanario y Otero, 2000; de Cudmani, Pesa y Salinas, 2000; Hilton, 2002). Las personas que se guían por el "sentido común" tienden a generar rápidas explicaciones de los fenómenos naturales sin mucha reflexión, basadas en la intuición y en la aplicación de burdas generalizaciones. Esta forma de razonamiento simplifica la complejidad de los problemas que enfrentamos y es extremadamente útil en la vida cotidiana pues tiende a producir soluciones efectivas sin requerir gran demanda cognitiva. Desgraciadamente, el razonamiento basado en el sentido común parece ser responsable de un gran número de los problemas que los estudiantes enfrentan en las clases de ciencias.

Investigaciones recientes en psicología del desarrollo humano hacen pensar que la mente humana opera de manera intuitiva con base en un número reducido de suposiciones o principios específicos sobre la naturaleza del mundo físico, biológico y psicológico, que guían y restringen el proceso de aprendizaje en esos campos (Carey y Spelke, 1994; Carey y Spelke, 1996; Wellman y Gelman, 1998). Por ejemplo, desde edades tempranas los seres humanos asumimos que los objetos materiales son impenetrables y se mueven en trayectorias continuas. Algunos investigadores consideran que este tipo de suposiciones o restricciones cognitivas

se encuentran organizadas en sistemas de conocimiento o marcos conceptuales, que poseen algunas, pero no necesariamente todas, las características de una teoría (Driver y Erickson, 1983; Vosniadou, 1994; Gopnik y Meltzoff, 1997). Estos marcos conceptuales, específicos para diferentes dominios de conocimiento, nos permiten identificar conceptos relevantes en una cierta área, pero limitan nuestro razonamiento sobre los mismos. En la actualidad la mayoría de los investigadores en el área reconocen la existencia de suposiciones, principios, o esquemas derivados intuitivamente de la experiencia cotidiana, los cuales guían y restringen el razonamiento humano, particularmente en el aprendizaje novato. Sin embargo, el debate continúa sobre su nivel de organización y coherencia en la mente humana (Vosniadou, 2002; di Sessa, 2002).

El trabajo de investigación sobre razonamiento humano también ha demostrado que las personas tienden a realizar inferencias sobre el mundo y la naturaleza con base en procesos no rigurosos. Estos atajos en el razonamiento, denominados procesos heurísticos, reducen la demanda cognitiva y tienden a generar respuestas aceptables con poco esfuerzo (Tversky y Kahneman, 1983; Todd y Gigerenzer, 2000; Leighton y Sternberg, 2004). Sin embargo, también son responsables de severos errores sistemáticos y prejuicios. Los procesos heurísticos no son necesariamente lógicos o coherentes; su función es la de generar inferencias razonables o plausibles bajo condiciones de tiempo y conocimientos limitados. El razonamiento de "sentido común" parece estar basado en el uso de procesos heurísticos que regulan cómo y dónde buscar la información necesaria para resolver un problema, cuándo detener la búsqueda, y qué hacer con los resultados (Pozo y Gómez-Crespo, 1998).

A pesar de la naturaleza esencialmente descriptiva de los trabajos de investigación sobre concepciones alternativas en física, química y biología, varios autores han identificado diferentes suposiciones o principios que parecen guiar y restringir la construcción de modelos y explicaciones generadas por los alumnos (Andersson, 1986, 1990; Chi, Slotta y de Leeuw, 1994; Bliss y Ogborn, 1994; Furió y Furió, 2000; Chi y Roscoe, 2002). Otros investigadores han concentrado sus esfuerzos en el análisis de procesos heurísticos de razonamiento que puedan explicar los resultados (Bliss y Ogborn, 1994; Furió *et al.*, 2000; Stavy y Tirosh, 2000; Tsamir *et al.*, 2003). Estos dos tipos de investigaciones son la base sobre la que se funda el presente trabajo. El objetivo central en nuestro caso es caracterizar los elementos básicos del marco conceptual que guía y restringe el razonamiento del "químico intuitivo." La intención es generar un modelo funcional que permita explicar y predecir el razonamiento basado en el "sentido común" de un prototípico aprendiz de química.

Metodología

Este trabajo se basa principalmente en el análisis riguroso de una gran proporción de las investigaciones originales sobre concepciones alternativas en el área de química. Dicho análisis se completó en varias etapas:

1. Basados en trabajos de investigación originales, libros y compilaciones sobre el tema (Andersson, 1990; Nakhleh, 1992; Garnett, Garnett y Hackling, 1995; Barker, 2000; Taber, 2002, Gilbert, 2002; Duit, 2004; Flores, 2004; Kind, 2004), se construyó un catálogo de las concepciones alternativas de una gran proporción de los estudiantes de química en los niveles medio y medio-superior, y en el primer año de la universidad. El catálogo se organizó por temas tradicionales (naturaleza corpuscular de la materia, reacciones químicas, etcétera)
2. Se revisaron múltiples trabajos de investigación en psicología cognitiva y del desarrollo humano, así como en educación de las ciencias, con el fin de identificar diferentes modelos y marcos teóricos de utilidad en el análisis de las concepciones alternativas catalogadas. Esta revisión permitió construir un primer esquema de codificación basado en un número limitado de principios y patrones de razonamiento.
3. Las nuevas categorías se utilizaron para reclasificar un número limitado de concepciones alternativas seleccionadas al azar. Durante el proceso, nuevas categorías fueron definidas y otras fueron modificadas o eliminadas. Este análisis se repitió varias veces con diferentes conjuntos de concepciones alternativas.
4. Las categorías propuestas se organizaron en dos grupos principales, uno relacionado con suposiciones o principios intuitivos sobre el funcionamiento del mundo natural, y el otro asociado con procesos heurísticos de razonamiento. Estas categorías se utilizaron como base para proponer un modelo funcional del marco conceptual de un "químico intuitivo" prototípico.

El mundo de "QuI"

El análisis de las concepciones alternativas de los estudiantes de química sugiere que una gran proporción de ellas puede explicarse como resultado de la aplicación de un marco conceptual basado en el "sentido común" (Talanquer, 2000, 2005). Se trata de un sistema de conocimiento crudo, incompleto y superficial sobre las sustancias y los procesos químicos, en el que la frontera entre gran variedad de conceptos no está bien diferenciada. Aunque no es mi intención proponer que este sistema de conocimiento representa el marco conceptual de todos los estudiantes, estoy convencido de que el modelo puede ayudar a docentes de cursos introductorios de química a entender, explicar y predecir muchas de las dificultades conceptuales de sus alumnos. Si bien es muy

posible que el marco conceptual de diferentes estudiantes contenga múltiples rasgos distintivos, dependientes de la historia y contexto personales, la evidencia indica que ciertos patrones de razonamiento parecen trascender al individuo. Con el fin de facilitar la comprensión de los principios intuitivos y los procesos heurísticos que parecen caracterizar al razonamiento de sentido común sobre sustancias y procesos químicos, tratemos de concebir el mundo a través del marco conceptual de un "químico intuitivo" prototípico, el estudiante "QuI".

Aunque QuI no lo sabe, su visión del mundo se basa en una posición filosófica conocida como *Realismo Ingenuo* (Hayes, 1979; Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Pozo y Gómez-Crespo, 1998; Furió y Furió, 2000; Viennot, 2001). Desde esta perspectiva, el estudiante asume que:

- Los objetos y procesos en el mundo físico existen de manera independiente del observador;
- Los objetos y fenómenos en el mundo físico son tal y como los percibimos;
- Los sentidos nos proporcionan conocimiento directo sobre la realidad;
- Los objetos físicos tienden a existir en estados "naturales" (normalmente estáticos e inertes). Así es como son las cosas, y por tanto sólo los cambios o las propiedades anormales o inesperadas requieren explicación.
- La ciencia estudia el mundo físico y por tanto los conceptos y modelos científicos se refieren a objetos, propiedades o eventos que existen en el mundo real.

La visión del mundo de QuI se complementa con una serie de principios intuitivos sobre la naturaleza del mundo físico, y por un conjunto de procesos heurísticos que guían y restringen su razonamiento. Estos principios y procesos se resumen en la Tabla 1. Muchos de estos principios y procesos están relacionados y seguramente se activan de manera simultánea cuando QuI enfrenta un problema, busca una explicación o toma una decisión. Sin embargo, la clasificación propuesta facilita su análisis y discusión.

I. Principios intuitivos

El marco conceptual de QuI parece estar regido por al menos cinco principios intuitivos que representan un conjunto de suposiciones básicas sobre la naturaleza y propiedades de las sustancias y procesos químicos: *continuidad, esencialismo, sustancialismo, causalidad mecánica y teleología*.

Continuidad

Para QuI, los objetos físicos están hechos de diferentes tipos de sustancias que pueden existir en diferentes estados. Estas sustancias pueden ser divididas continuamente en piezas

más pequeñas las cuales poseen las mismas propiedades cualitativas que la pieza original (continuidad de las propiedades físicas y químicas). De hecho, QuI no tendrá mucha dificultad en aceptar que las sustancias están constituidas por partículas pequeñas, tales como átomos y moléculas. Sin embargo, su visión del mundo microscópico es “macro-copular”: las propiedades de estas partículas, como su color, densidad, o dureza son similares a las del objeto macroscópico. Yasea porque el objeto hereda las propiedades de sus partículas constituyentes, o porque las propiedades perceptibles del mundo macroscópico se proyectan al mundo microscópico, el razonamiento de QuI descarta la existencia de propiedades emergentes (propiedades derivadas de la interacción entre los diversos componentes de un sistema). Así, por ejemplo, podemos esperar que QuI piense que los átomos de cobre son rojizos como este metal y que se expanden y vuelven más ligeros cuando el material se calienta (Ben-Zvi, Eylon, y Silberstein, 1986; Andersson, 1990).

Esencialismo

En el mundo de QuI, las propiedades de los materiales están determinadas por la mezcla de diferentes componentes elementales con esencias bien definidas (Gelman, Coley y Gottfried, 1994). Las propiedades de estas sustancias elementales (color, sabor, olor, acidez, estado de agregación) se transfieren de manera aditiva a sus mezclas/compuestos. Por ello, es muy probable que QuI piense que al calentar agua el gas que escapa es una mezcla de hidrógeno y oxígeno (Osborne and Cosgrove, 1983). QuI asume que la cantidad e identidad de estos componentes básicos se conserva durante un proceso si es capaz de seguir o reconstruir su historia, aunque cambie en algo su apariencia (por ejemplo, cuando el cobre reacciona con ácido nítrico, el color rojizo del gas que se genera indica la presencia de ese elemento) (Nieswandt, 2001). Transformaciones que involucran la formación de entidades invisibles o “inmateriales” (gases, calor, luz) le hacen pensar que la sustancia fue destruida o que la identidad se ha perdido; en casos como éstos, QuI tiene serias dificultades para creer que la materia se conserva. Sin embargo, para QuI algunas propiedades de las sustancias, como su olor y sabor, tienen existencia semi-independiente; es algo que las sustancias “portan y liberan”, y por tanto pueden permanecer aunque el material desaparezca (Stavy, 1990).

Sustancialismo

En el marco conceptual de QuI, interacciones, procesos, propiedades y entidades abstractas que escapan a la percepción, se conciben como sustancias o como propiedades de objetos materiales (SanMartí e Izquierdo, 1995; Reiner *et al.*, 2000; Viennot, 2001). En el mundo de QuI, los objetos físicos son entidades independientes cuyas propiedades dependen

Tabla 1. Principios y procesos que guían y restringen el razonamiento del Químico Intuitivo.

Visión del mundo Realismo ingenuo	
Principios intuitivos	Procesos heurísticos
Continuidad Esencialismo Sustancialismo Causalidad mecánica Teleología	Asociación Reducción Fijación Secuenciación lineal

de las sustancias que los forman o que contienen. De ahí que propiedades o fenómenos que resultan de la interacción entre dos o más sistemas, como el peso, el calor, el sabor, el olor, o la acidez, se “sustancialicen” o se atribuyan a las sustancias presentes en uno de los sistemas. Esta tendencia a sustancializar las propiedades, los procesos o las interacciones se agrava cuando el lenguaje o las analogías utilizadas para referirse o representar el concepto incluyen propiedades características de cuerpos materiales (el calor “fluye” como un líquido; los enlaces químicos se “rompen” como un sólido y “contienen” energía; el olor se “escapa”). El esencialismo y sustancialismo de QuI lo llevan a pensar que un cuerpo puede cambiar si gana o pierde una propiedad (vistas como pseudo-sustancias que se escapan, desaparecen, o emergen), sin que otras propiedades o la sustancia misma (su esencia) se modifiquen (SanMartí e Izquierdo, 1995).

Causalidad mecánica

Para QuI, todo cambio o proceso en un sistema (el efecto) es inducido por un agente externo (la causa). De hecho, en la mayoría de los casos todo cambio se puede explicar si se identifica el agente que de manera directa, por contacto, o indirecta, a través de un intermediario, altera el estado “natural” (equilibrio estático) del sistema (Andersson, 1986; Gutierrez y Ogborn, 1992; Viennot, 2001). Desde esta perspectiva, en todo proceso un agente activo induce cambios en un agente pasivo, y el sistema evoluciona en una dirección determinada (por eso toda reacción química requiere de un agente externo para comenzar). En el mundo de QuI, todo proceso eventualmente cesa. Por el principio de *continuidad*, este comportamiento también se aplica al mundo microscópico (en general, para QuI, los mundos macroscópico y microscópico son isomorfos). En consecuencia, para este estudiante resulta difícil concebir la existencia de partículas en constante movimiento o de procesos dinámicos en los que hay interacciones mutuas, continuas y simultáneas, sin claros agentes activos o pasivos, y sin direccionalidad predeterminada (procesos emergentes como la difusión y el equilibrio químico) (Chi y Roscoe, 2002).

Teleología

Cuando QuI se enfrenta con procesos que no parecen tener un agente causal claro, asume que los cambios ocurren para satisfacer algún propósito o fin determinado, una necesidad intrínseca o algún principio fundamental (Kelemen, 1999). Por ejemplo, los átomos reaccionan para llenar la capa de valencia o satisfacer la regla del octeto (Taber, 2002); los sistemas evolucionan para minimizar su energía o maximizar su entropía (Kind, 2004). En general, podemos esperar que QuI considere que hay sustancias o estados más estables que otros (estabilidad como propiedad absoluta), y considere que los sistemas evolucionan buscando máxima estabilidad.

El mapa conceptual que se presenta en la figura 1 resume las ideas fundamentales asociadas con los cinco principios intuitivos descritos en esta sección.

II. Procesos heurísticos

Una gran variedad de las concepciones alternativas de QuI parecen ser resultado de la combinación de los principios intuitivos descritos en la sección anterior, con procesos heurísticos de razonamiento utilizados para seleccionar la información pertinente para solucionar un problema, dar una explicación, construir inferencias y tomar decisiones. Estos procesos heurísticos pueden clasificarse en cuatro grupos principales: *asociación*, *reducción*, *fijación* y *secuenciación lineal*.

Asociación

En el marco conceptual de QuI, el razonamiento causal ocupa un lugar preponderante en el análisis de procesos y eventos. Por tanto, una gran cantidad de problemas se reducen a la identificación de causas y la predicción de efectos, tareas que se simplifican utilizando reglas asociativas básicas. En particular, las reglas de covariancia, similitud, proximidad, adivinidad y disponibilidad (Pozo y Gómez-Crespo, 1998; Stavy y Tirosh, 2000; Viennot, 2001; Hilton, 2002).

- *Covariancia*: Una vez que QuI identifica una posible relación causal, asume que siempre que se dé la causa se producirá el efecto, sin prestar mucha atención a las condiciones en las que el evento ocurre (siempre que se calienta un sistema, su temperatura aumentará). QuI considera que entre más intensa, cercana o duradera sea la causa, mayor será el efecto, y que variables asociadas cambian en forma proporcional (más A-más B: más área, más volumen; más electrones, más polar).
- *Similitud*: En el mundo de QuI se espera que la causa y el efecto compartan características comunes (cuando un sólido se expande, es porque sus partículas se expanden; para incrementar la temperatura de un sistema, hay que proporcionar calor).

- *Proximidad*: QuI tiende a asociar eventos cercanos en el espacio y en el tiempo, particularmente cuando existe contacto directo entre cuerpos o sistemas (la superficie fría de un vaso causa que el oxígeno y el hidrógeno se combinen para formar agua).
- *Aditividad*: Cuando dos o más efectos actúan en un sistema, QuI tenderá a combinarlos linealmente y a distribuir el efecto total homogéneamente entre las diversas partes del sistema (por supuesto, efectos opuestos siempre se cancelan, así que toda mezcla de un ácido con una base debe ser neutra).
- *Disponibilidad*: QuI tiende a identificar causas o variables importantes con base en su disponibilidad cognitiva (lo que recuerda, lo que estudió recientemente, lo que usa con frecuencia) más que por su relevancia.

Reducción

QuI simplifica el análisis de los problemas o su interpretación de los fenómenos naturales reduciendo el número de factores a considerar (Furió *et al.*, 2000; Viennot, 2001). En particular, tiende a asumir que la mayoría de las propiedades o procesos en un sistema dependen de una sola variable (por ejemplo, el número total de electrones determina el tamaño del átomo; la polaridad de una molécula sólo depende de la polaridad de sus enlaces) (Furió y Calatayud, 1996). Adicionalmente, ignora características básicas en la definición de conceptos, colapsando varios de ellos en una sola noción a la que asocia términos diversos. En el marco conceptual de QuI una variedad de conceptos tienen fronteras difusas, se traslapan o se encuentran indiferenciados (Mezcla/Compuesto, Calor/Temperatura, Interacción/Reacción, Energía/Fuerza, Peso/Densidad, Disolución/Fusión) (Carey, 1985).

Fijación

Una vez que QuI aprende o descubre una estrategia, principio o interpretación útil para resolver un problema, la aplica de manera automática sin considerar sus limitaciones o las condiciones en las que se aplica (Furió *et al.*, 2000). De ahí que tienda a:

- sobregeneralizar la aplicación de leyes o principios (la entropía siempre aumenta; todas las reacciones químicas son irreversibles);
- utilizar la misma estrategia para resolver cualquier problema, y
- considerar que modelos y representaciones simbólicas tienen una interpretación única (la estructura de Lewis representa la estructura molecular de un compuesto; el símbolo NaCl indica que hay dos átomos en esta "molécula").

Secuenciación lineal

QuI concibe todo proceso como una secuencia lineal de eventos con un principio y un fin (Driver, Guesne y Tiberghien, 1983; Viennot, 2001), de manera que al analizar un fenómeno dinámico tenderá a construir una historia o cronología, en la que las diversas variables involucradas intervienen de una en una, en momentos específicos, y en una progresión determinada. Para QuI, la simultaneidad es problemática. Por tanto, el análisis de sistemas en equilibrio químico o de mecanismos de reacción se realiza en forma secuencial, como una progresión de eventos que se dan uno tras otro.

Comentarios finales

En la Tabla 2 se presentan ejemplos que ilustran la clasificación de concepciones alternativas típicas sobre conceptos de química con base en los principios intuitivos y procesos heurísticos descritos en la sección anterior. Aunque varias de estas concepciones alternativas pueden tener su origen en la aplicación simultánea de varios principios y procesos, se ha buscado identificar el tipo de razonamiento de sentido común que parece ser dominante.

Como ya se mencionó anteriormente, no es la intención de este artículo el proponer que la complejidad del sistema de conocimiento de todos los estudiantes de química se puede reducir a un conjunto de principios y procesos heurísticos de razonamiento. Sin embargo, desde el punto de vista pedagógico, modelos de análisis de las concepciones

alternativas de los estudiantes tales como el propuesto en este trabajo pueden ser de gran utilidad para docentes de química tanto en preparación como en servicio. El reconocimiento de suposiciones intuitivas y patrones de razonamiento comunes facilita el diagnóstico, identificación y predicción de dificultades conceptuales en diversas áreas, y puede servir de base para el diseño de estrategias didácticas que ayuden a superarlas.

El simple catálogo de concepciones alternativas en el área de química es poco útil no sólo porque no permite identificar tendencias o patrones comunes en el pensamiento de los estudiantes, sino porque lleva a pensar que toda concepción alternativa puede ser superada o modificada siguiendo la misma estrategia. Sin embargo, si reconocemos diferencias en el origen de las ideas o explicaciones de los alumnos, podremos diseñar o seleccionar métodos de enseñanza más eficaces. También podremos guiar de mejor manera el trabajo y la reflexión metacognitiva de los estudiantes.

Es difícil evaluar el grado de coherencia y sistematicidad de los principios y procesos heurísticos que parecen guiar y restringir el razonamiento de estudiantes como QuI. La experiencia indica que muchos alumnos tienden a generar explicaciones poco coherentes y sistemáticas, cuyas características están fuertemente influenciadas por la naturaleza de los problemas y el contexto en los que se les presentan (diSessa, 2002). Más que referirse a un sistema integrado de conocimiento, los estudiantes parecen construir soluciones

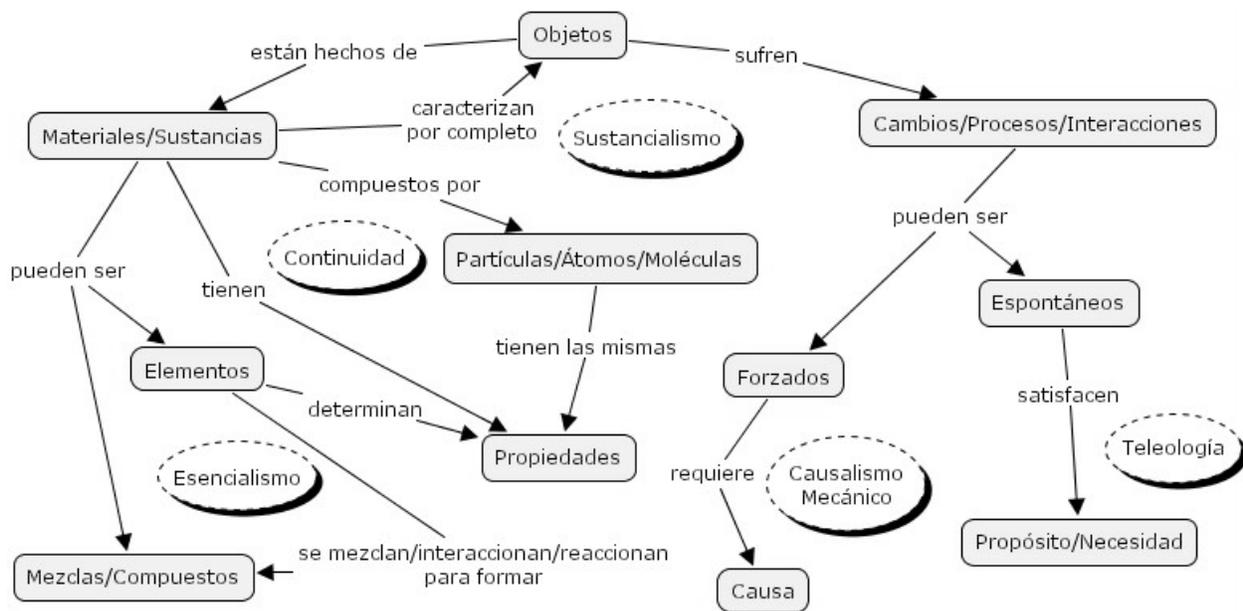


Figura 1. Este mapa conceptual ilustra las suposiciones básicas sobre la naturaleza de las sustancias y los procesos químicos del "químico intuitivo". En el sistema de conocimiento de QuI, una gran variedad de conceptos, como Mezcla/Compuesto o Interacción/Reacción no están claramente diferenciados.

CONCEPCIONES ALTERNATIVAS Y CAMBIO CONCEPTUAL

Tabla 2. Clasificación de concepciones alternativas en química con base en el marco conceptual de sentido común propuesto en este artículo.

Principio Intuitivos	Concepciones Alternativas
Continuidad	<ul style="list-style-type: none"> Los átomos y moléculas tienen propiedades macroscópicas: se expanden y pierden peso al calentarlos, tienen densidades uniformes y colores definidos, son maleables, cambian de forma bajo presión, etc.
Esencialismo	<ul style="list-style-type: none"> El óxido es un tipo de hierro. Es imposible extraer carbón sólido de un gas (como CO₂). El gas que efervesce al disolver una tableta se encuentra atrapado dentro de ella.
Sustancialismo	<ul style="list-style-type: none"> El calor tiene propiedades materiales y se comporta como un fluido. Los enlaces químicos "almacenan" la energía que se libera en una reacción química. El azúcar le transfiere su "sabor" al agua.
Causalidad mecánica	<ul style="list-style-type: none"> Un gas ocupa el volumen del recipiente que lo contiene porque sus partículas se repelen entre sí. Toda reacción química requiere de la acción de un agente externo para comenzar. Cuando un ácido reacciona con un metal, el ácido es el agente activo que ataca al metal.
Teleología	<ul style="list-style-type: none"> Las sustancias reaccionan para minimizar su energía o satisfacer un gusto o necesidad. Los átomos ceden electrones para satisfacer la regla del octeto. La estructura de una molécula busca reducir las repulsiones entre los electrones de enlace.
Procesos Heurísticos	
Asociación	<ul style="list-style-type: none"> Las reacciones químicas requieren calor para comenzar Siempre que se calienta un sistema, su temperatura aumenta. Cuando un ácido y una base se mezclan, la solución resultante es siempre neutra.
Reducción	<ul style="list-style-type: none"> La polaridad de los enlaces determina la polaridad de la molécula. El número total de electrones determina el tamaño de los átomos. Una sustancia se funde cuando se disuelve, o se evapora cuando se quema (conceptos indiferenciados).
Fijación	<ul style="list-style-type: none"> La entropía de un sistema siempre se incrementa. Todo cambio químico es irreversible. Todos los compuestos están constituidos por moléculas.
Secuenciación Lineal	<ul style="list-style-type: none"> Al alcanzar el equilibrio químico, la reacción que genera productos se completa antes de que se inicie la reacción inversa. En una celda electroquímica, los electrones circulan alrededor del circuito provocando una secuencia de eventos. En un mecanismo de reacción, cada paso ocurre en una secuencia bien determinada, uno detrás del otro.

y explicaciones sobre la marcha, con base en un marco conceptual poco coherente constituido por fragmentos de conocimiento aislados.

Sin embargo, la variabilidad en las explicaciones y decisiones de un individuo o conjunto de individuos no necesariamente implica que éstos no comparten principios intuitivos y patrones de razonamiento. Por ejemplo, cuando enfrentamos un problema nuevo o un evento inesperado, nuestros procesos heurísticos de razonamiento nos llevarán a tratar de identificar una causa cercana en el tiempo o en el espacio (*proximidad*), que nos sea familiar o resulte fácil de recordar (*disponibilidad*). Las claves que cada individuo utilice para explicar el fenómeno dependerán de su experiencia previa y el contexto en el que se encuentre, pero estarán fuertemente influenciadas por sus suposiciones sobre el comportamiento del mundo que lo rodea (*Realismo ingenuo y principios intuitivos asociados*). Por tanto, diferentes individuos pueden seleccionar diferentes claves para guiar su razonamiento y generar así explicaciones variadas, aun cuando

compartan los mismos principios intuitivos y procesos heurísticos de razonamiento. ■

Referencias

- Andersson, B. The experiential gestalt of causation: A common core to pupils' preconceptions in science. *Eur. J. Sci. Educ.* 8, 155-171, 1986.
- Andersson, B. Pupils' conceptions of matter and its transformations (Age 12-16). *Studies in Science Education*. 18, 53-85, 1990.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B-S. y Silberstein, J. Is an atom of copper malleable? *J. Chem. Educ.* 63(1), 64-66, 1986.
- Bliss, J. y Ogborn, J. Force and motion from the beginning. *Learning and Instruction*., 5, 7-25, 1994.
- Campanario, J. M. y Otero, J. C. Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 155-169, 2000.
- Carey, S. Conceptual change in childhood. MIT Press: Cambridge, MA, 1985.
- Carey, S. y Spelke, E. Domain-specific knowledge and conceptual change. En Hirschfeld, L. y Gelman, S. A. (Eds.) *Mapping the Mind*. Cambridge University Press: Cambridge, 1994; pp. 169-200.
- Carey, S. y Spelke, E. Science and core knowledge. *Philosophy of Science*, 63, 515-533, 1996.

- Chi, M. T. H., Slotta, J. D. y de Leeuw, N. From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27-43, 1994.
- Chi, M. T. H. and Roscoe, R. D. The processes and challenges of conceptual change. En Limón, M. y Mason, L. *Reconsidering conceptual change. Issues in theory and practice*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands, 2002; pp 3-27.
- de Cudmani, L. C., Pesa, M. A. y Salinas, J. Hacia un modelo integrador para el aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*. 18(1), 3-13, 2000.
- diSessa, A. A. Why "conceptual ecology" is a good idea? En Limón, M. y Mason, L. *Reconsidering conceptual change. Issues in theory and practice*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands, 2002; pp 29-60.
- Driver, R. y Erickson, G. Theories-in-Action: Some theoretical and empirical issues in the study of conceptual frameworks in science. *Studies in Science Education*. 10, 37-60, 1983.
- Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. *Children's Ideas in Science*. Open University Press: Buckingham, England, 1985.
- Driver, R., Squires, A., Rushword, P. y Wood-Robinson, V. *Making Sense of Secondary Science: Research into Children's Ideas*. Routledge: London, 1994.
- Duit, R. *Bibliography STCSE: Students' and teachers' conceptions and science education*. Leibniz Institute for Science Education: Kiel, Germany: IPN, 2004. Disponible en www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/.
- Flores, F. (Coordinador General). *Ideas Previas*. UNAM, UPN, UAS, 2004. Disponible en <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048/index.php>.
- Furió, C. y Calatayud, M. L. Difficulties with the geometry and polarity of molecules: beyond misconceptions. *J. Chem. Educ.* 73(1), 36-41, 1996.
- Furió, C. y Furió, C. Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. *Educ. quim.* 11(3), 300-308, 2000.
- Furió, C., Calatayud, M. L., Bárcenas, S. L. y Padilla, O. M. equilibrium and in geometry and polarity of molecules. *Sci. Ed.* 84, 545-565, 2000.
- Garnett, P. J., Garnett, P. J. y Hackling, M. W. Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*. 25, 69-95, 1995.
- Garritz, A. y Trinidad, R. El conocimiento pedagógico del contenido, *Educ. Quím.* 15(2), 98-102, 2004.
- Gelman, S. A., Coley, J. D. y Gottfried, G. M. Essentialist beliefs in children: The acquisition of concepts and theories. En Hirschfeld, L. y Gelman, S. A. (Eds.) *Mapping the Mind*. Cambridge University Press: Cambridge, 1994; pp 341-365.
- Gilbert, J. K., De Jong, O., Justi, R., Teagust, D. y Van Driel, J. H. (Eds.) *Chemical Education: Towards Research-based Practice*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands, 2002.
- Gopnik, A. y Meltzoff, A. N. *Words, Thoughts, and Theories*. MIT Press: Cambridge, MA, 1997
- Gutierrez, R. y Ogborn, J. A causal framework for analyzing alternative conceptions. *Int. J. Sci. Educ.* 14, 201-220, 1992.
- Hilton, D. Thinking about causality: pragmatic, social and scientific rationality. En Carruthers, P., Stich, S. y Siegal, M (Eds.) *The cognitive basis of science*. Cambridge University Press: Cambridge, 2002; pp.211-231.
- Hayes, P. The naïve physics manifesto. En Michie, D. (Ed.) *Expert Systems in the Microelectronic Age*. Edinburgh University Press: Edinburgh, 1979; pp 242-270.
- Kelemen, D. Functions, goals and intentions: Children's teleological reasoning about objects. *Trends in Cognitive Sciences*. 3, 461-468, 1999.
- Kind, V. (2004). *Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química*. México: Aula XXI Santillana-Facultad de Química, UNAM. Versión preliminar en inglés disponible en <http://www.chemsoc.org/networks/learnnet/miscon.htm>.
- Leighton, J. P. y Sternberg, R. J. (Eds.). *The Nature of Reasoning*. Cambridge University Press: Cambridge, 2004.
- Nakhleh, M. B. Why some students don't learn chemistry. *J. Chem. Educ.* 69(3), 191-196, 1992.
- Nieswandt, M. Problems and Possibilities for Learning in an Introductory Chemistry Course from a Conceptual Change Perspective. *Sci. Ed.* 85, 158-179, 2001.
- Osborne, R. y Cosgrove, M. Children's conceptions of the changes of state of water. *Journal of Research in Science Teaching*. 20(9) 825-838, 1983.
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. *Aprender y Enseñar Ciencia*. Morata: Madrid, 1998.
- Reiner, M.; Slotta, J. D.; Chi, M. T. H. y Resnick, L. B. Naïve physics reasoning: A commitment to substance-based conceptions. *Cognition and Instruction*. 18, 1-34, 2000.
- SanMartí, N. e Izquierdo, M. The substantialisation of properties in pupil's thinking and in the history of science. *Science and Education*. 4, 349-369, 1995.
- Shulman, L. S. Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15 (2), 4-14, 1986.
- Stavy, R. Children's conceptions of changes in the state of matter: From liquid (or solid) to gas. *Journal of Research in Science Teaching*. 27(3) 247-266 (1990).
- Stavy, R. y Tirosh, D. *How Students (Mis-)Understand Science and Mathematics*. Teachers College Press: New York, NY, 2000.
- Taber, K. *Chemical misconceptions -prevention, diagnosis and cure. Vol I: Theoretical background* Royal Society of Chemistry: London, 2002.
- Talanquer, V. Minimizing misconceptions: Tools for identifying patterns of reasoning. *The Science Teacher*. 69(8) 46-49, 2002.
- Talanquer, V. Formación Docente: ¿Qué conocimiento distingue a los buenos maestros de química? *Educ. quim.* 15(1), 60-66, 2004.
- Talanquer, V. Common-sense chemistry: A model for understanding students' alternative conceptions. *J. Chem. Educ.* (Aceptado para publicación, 2005).
- Tsamir, P., Tirosh, D., Stavy, R. y Ronen, I. Intuitive Rules: A Theory and Its Implications to Mathematics and Science Teacher Education. En Behrendt, H. et al (Eds.) *Research in Science Education -Past, Present, and Future*, Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands, 2001; pp 167-175.
- Todd, P. M. y Gigerenzer, G. Précis of Simple heuristics that make us smart. *Behavioral and Brain Sciences.*, 23, 727-780, 2000.
- Tversky, A. y Kahneman, D. Judgment under uncertainty: heuristics and biases. En Kahneman, D., Slovic, P. y Tversky, A. (Eds.) *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases*. Cambridge University Press: Cambridge, 1983; pp 3-20.
- Viennot, L. *Reasoning in Physics: The Part of Common Sense*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands, 2001.
- Vosniadou, S. Conceptual Change. *Learning and Instruction*. 4, 45-69, 1994.
- Vosniadou, S. On the nature of naïve physics. En Limón, M. y Mason, L. *Reconsidering conceptual change. Issues in theory and practice*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands, 2002; pp 61-76.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J y Novak, J. D. Research on alternative conceptions in science. En Gabel, D. (Ed.) *Handbook of Research in Science Teaching and Learning*. Simon & Schuster Macmillan: New York, 1994; pp 177-210.
- Wellman, H. M., Gelman, S. A., Knowledge acquisition in foundational domains. En D. Kuhn y Siegler, R. S. (Eds.) *Handbook of Child Psychology. Volume 2, Cognition, Perception, and Language*. Wiley: New York, NY, 1998; pp. 523-573.