

METL2

Papeles del Seminario
de Investigación Educativa



Facultad de Química
UNAM

METL2

Papeles del Seminario
de Investigación Educativa



Facultad de Química

UNAM

Primera edición 2009

D.R. © **Universidad Nacional Autónoma de México**

Ciudad Universitaria, 04510, México, D.F.

FACULTAD DE QUÍMICA

ISBN **978-607-02-1411-0**

Hecho en México

Presentación

*La palabra náhuatl **metl** designa al maguey y al papel que se prepara de esta planta. El papel fue un material muy utilizado en el México prehispánico y con este nombre hemos querido recordar parte de nuestra herencia.*

Después de la publicación de METL1, los integrantes del Seminario de Investigación Educativa de la Facultad de Química nos dimos a la tarea de precisar y ampliar la utilidad para los docentes de dicha publicación. Por ello después de una intensa discusión decidimos abordar dos temas que, en nuestra opinión, son particularmente relevantes y que estructuraron los seminarios de todo el ciclo 2006-2007: estructura y reactividad. Generalmente asociamos la estructura de las diferentes especies química a una condición estática, mientras que la reactividad nos indica como cambian éstas estructuras en el tiempo (asunto, el del tiempo en la química, que debiera ser más y mejor discutido cuando se enseña nuestra disciplina) y los requerimientos energéticos que las acompañan. Esta es la esencia de la química, el cambio de las estructuras materiales en el tiempo. Así, en el presente número, se reúnen trabajos de investigación de varios de los integrantes del SIE, algunos de ellos realizados con alumnos de la Maestría en Docencia en Enseñanza Media Superior, sobre ambos temas.

Con relación a estructura se presentan los siguientes artículos:

- *Tendencias en la docencia de los nanosistemas* de Pilar Rius
- *Las interpretaciones de los alumnos sobre la estructura de la Materia* de Rosa María Gómez
- *Saber pedagógico y conocimiento pedagógico del contenido: la estructura corpuscular de la materia* de Andoni Garritz
- *De las interacciones químicas...al tetraedro de las sustancias* de Plinio Sosa
- *¿Qué piensan los estudiantes de química sobre el enlace químico?* de Silvia Bello y Alfredo Herrera

Y sobre el de reactividad:

- *Dificultades en la enseñanza del concepto del equilibrio químico. Una propuesta para superarlas* de Glinda Irazoque y Patricia Huerta.

- *¿Cuál es el conocimiento básico que los profesores necesitan para ser más efectivos en sus clases? El caso del concepto “reacción química”* de Elizabeth Nieto, Andoni Garritz y Flor Reyes-Cárdenas.
- *Obstáculos para la construcción del concepto reacción química. Una propuesta para superarlos* de Gisela Hernández y Norma López.

Entre estos dos grandes temas se encuentra un artículo que funciona de puente entre ambos (*Modelos recurrentes. El modelo atómico de Lewis-Langmuir y Sidgwick* de José Antonio Chamizo). Mientras que el anuario (que eso es METL) lo inicia un trabajo teórico general sobre los conceptos científicos (*Los recursos conceptuales en la construcción de los conceptos Científicos* de Alejandra García)

METL2 es una publicación autorizada por el Comité Editorial de la Facultad de Química, editada con el apoyo del proyecto PAPIME PE 204206 y se encuentra alojada en la página web del Seminario de Investigación Educativa <http://depa.pquim.unam.mx/sie> desde donde puede ser consultada y reproducida.

José Antonio Chamizo
2009

Índice

Alejandra García	
Los recursos conceptuales en la construcción de los conceptos científicos	9
Pilar Rius	
Tendencias en la docencia de los nanosistemas	25
Rosa Margarita Gómez	
Las interpretaciones de los alumnos sobre la estructura de la materia	41
Andoni Garritz	
Saber pedagógico y conocimiento pedagógico del contenido: la estructura corpuscular de la materia	55
Plinio Sosa	
De las interacciones químicas... al tetraedro de las sustancias	75
Silvia Bello y Alfredo Herrera	
¿Qué piensan los estudiantes de química sobre el enlace químico?	91
José Antonio Chamizo	
Modelos recurrentes. El modelo atómico de Lewis-Langmuir y Sidgwick	103
Glinda Irazoque y Patricia Huerta	
Dificultades en la enseñanza del concepto del equilibrio químico. Una propuesta para superarlas	117

Elizabeth Nieto, Andoni Garritz y Flor Reyes-Cárdenas	
¿Cuál es el conocimiento básico que los profesores necesitan para ser más efectivos en sus clases? El caso del concepto “reacción química”	131
Gisela Hernández y Norma López	
Obstáculos para la construcción del concepto reacción química. Una propuesta para superarlos	153
Los autores	171

Los recursos conceptuales en la construcción de los conceptos científicos

Alejandra García Franco

Introducción

Es ampliamente reconocido que las ideas con las que los estudiantes llegan a clases de ciencias son fundamentales para el aprendizaje de las ciencias. Estas ideas han sido consideradas de formas diversas (concepciones alternativas, teorías intuitivas, ideas previas), pero la mayoría reconoce las ideas de los estudiantes como entidades unitarias, estables, y distintas a las concepciones científicas. El reconocimiento de estas nociones de los estudiantes, que son distintas a las nociones científicas, dio pie a aproximaciones que buscan caminos para modificarlas mediante la enseñanza, enmarcadas, de forma general bajo el término de cambio conceptual (Duit, 1999). En este trabajo presentamos una perspectiva diferente a la de las concepciones alternativas, que permite analizar las ideas de los estudiantes y sus transformaciones con un nivel mayor de detalle. Esta perspectiva ha sido utilizada exitosamente para dar cuenta de las ideas de los estudiantes en algunos temas de física (diSessa, 1993; Hammer, 1996a), y de matemáticas (Pratt & Noss, 2002; Wagner, 2006) y sólo recientemente ha habido algunas aproximaciones en el área de la química (Taber & Tan, 2006; Taber 2008). El presente trabajo describe con detalle la perspectiva teórica que ha sido utilizada para analizar las ideas de estudiantes de secundaria y bachillerato (13–17 años) relacionadas con la naturaleza corpuscular de la materia (García Franco, 2007b) en tres contextos diferentes: mezclas, cambios de estado y reacciones químicas. Dicho análisis nos ha permitido identificar algunos elementos mínimos a partir de los cuales los estudiantes construyen sus explicaciones. Algunos resultados preliminares de este trabajo han sido presentados con anterioridad (García Franco & Taber, 2006; García Franco, 2007a) y en este documento se presenta solamente la perspectiva de análisis porque pensamos que puede resultar interesante en tanto promueve una forma diferente de conceptualizar el aprendizaje de las ciencias.

Una nueva noción para el cambio conceptual

Las diferentes versiones del cambio conceptual que se han presentado en el campo de la educación en ciencias (Bello, 2004; Flores, 2004), consideran el cambio conceptual como un cambio en los

conceptos que se encuentran en el centro mismo del sistema conceptual, un cambio en los términos centrales a través de los cuales se entiende el mundo. A pesar de las evidentes diferencias entre los modelos de cambio conceptual, existe un ‘acuerdo generalizado’ en el que el cambio conceptual se entiende como aquel que requiere una *reestructuración mayor* en el sistema conceptual de los estudiantes (Duit, 1999).

Si embargo, uno de los problemas más importantes de este “acuerdo generalizado” respecto al cambio conceptual, es la definición misma de *concepto*, lo cual ha ocasionado una *imprecisión teórica* en el campo de la educación en ciencias. Sobre lo anterior diSessa & Sherin (1998, p. 1161), han hecho notar que existe una diversidad muy amplia entre aquellas entidades que se consideran conceptos:

...vale la pena hacer notar la larga lista de cosas a las que se llaman conceptos: perro, animal, vivo, muerto, comer. A esta lista podemos agregar movimiento, fuerza, velocidad y aceleración...

Esto ha provocado que se subestime la complejidad y la diversidad del fenómeno del cambio conceptual, y de hecho, muchas de las investigaciones que dan cuenta del aprendizaje como una construcción individual se quedan lejos de poder construir una teoría del aprendizaje de cierto grado de complejidad, que pueda dar cuenta de la forma en la que los estudiantes construyen nociones cercanas a las nociones científicas mediante la reconstrucción de sus nociones intuitivas o ‘concepciones iniciales’ (Smith, diSessa & Roschelle, 1993).

De acuerdo con Redish (2004), actualmente la educación en ciencias requiere construir una estructura teórica que permita describir el comportamiento del sistema (el estudiante que aprende) mediante un número mínimo de conceptos y en el que el comportamiento complejo del sistema pueda describirse como producto de las combinaciones y elaboraciones de las estructuras más simples y sus interacciones.

Estamos interesados en un *constructivismo de “grano fino”*, que nos permita analizar el conocimiento desde sus componentes más fundamentales y tratar de comprender *cómo* se construye. (Redish, 2004, p. 9, énfasis en el original)

Esta estructura teórica, debería dotarnos con una visión unificada, que permita organizar y mejorar nuestra comprensión acerca del conocimiento, el aprendizaje y la enseñanza, por lo tanto debe basarse en una descripción detallada de las entidades que atribuimos a la mente de los

estudiantes, de forma que se expliciten las atribuciones ontológicas que hacemos respecto al sistema conceptual de los estudiantes, permitiendo que se puedan examinar, refinar y conseguir una mayor precisión técnica (Hammer, 2004)

Smith, diSessa & Roschelle (1993), argumentan que de acuerdo con los principios constructivistas el conocimiento de los estudiantes no puede conceptualizarse en términos de la presencia o ausencia de elementos unitarios, sino como un sistema de conocimientos, compuesto de muchos elementos interrelacionados que pueden cambiar en formas complejas. En este sentido, el sistema conceptual no puede evaluarse en términos de “tener” o “no tener” un concepto, o de “reemplazar” un concepto por otro.

Desde una perspectiva que considera el conocimiento como un sistema complejo, se asume que existe una multiplicidad de entidades dentro de ese sistema, cuyas relaciones se transforman de acuerdo al contexto. diSessa (2003), señala que en el estudio de los sistemas cognitivos se debe esperar una tendencia hacia la multiplicidad, lo cual implica considerar un número mayor de entidades mentales, que pueden ser de distinta naturaleza, así como una tendencia a disminuir *la escala* (en el sentido de ir hacia entidades más pequeñas) a la cual se analizan estas entidades.

Así, el aprendizaje de un concepto puede implicar la coordinación de un número grande de elementos en muchas formas diferentes, por ello, una aproximación de sistemas complejos requiere considerar la diversidad de condiciones en las que ocurren las situaciones de aprendizaje, así como lidiar con el hecho de que los ‘conceptos’ en este caso pierden su demarcación clara y de alguna forma son más difusos, lo cual puede resultar incómodo desde el punto de vista del investigador (diSessa & Wagner, 2005). Sin embargo, es fundamental reconocer que un sistema tan complejo como el que nos ocupa difícilmente estaría compuesto de entidades simples fácilmente discernibles y perfectamente distinguibles unas de otras.

La perspectiva de los recursos conceptuales

La investigación en el campo de la educación en ciencias ha tendido a moverse desde modelos unitarios de la mente hacia modelos que consideran el sistema de conocimiento como un sistema complejo formado de elementos múltiples que interactúan entre sí y que no es gobernado por uno sólo de ellos.

Durante mucho tiempo la perspectiva dominante en la investigación en educación en ciencias ha sido la de las concepciones alternativas, desde la cual las concepciones de los estudiantes son

consideradas entidades estables, resistentes incluso a la instrucción diseñada para erradicarlas y utilizadas consistentemente por los estudiantes (Driver & Easley, 1978; Driver & Erickson, 1983; Gilbert & Watts, 1983; Driver, Squires, Rushworth & Wood-Robinson, 1994) y en algunos casos se considera que éstas tienen una estructura similar a una teoría científica (Vosniadou, 1994; McCloskey, 1983).

Sin embargo, otros investigadores han considerado que la evidencia experimental sugiere que el pensamiento de los estudiantes tiende a ser fragmentario, inconsistente, incoherente y temporal (Claxton, 1993; Minstrell, 1992; Solomon, 1993) y que muchas veces las concepciones de los estudiantes están estrechamente relacionadas con el tipo de pregunta que se les hace y el contexto inmediato (Engel Clough & Driver, 1994; Viennot, 1985). La consideración de las ideas de los estudiantes como entidades unitarias y estables, o como entidades emergentes que se construyen 'in situ' a partir de entidades más pequeñas que pueden relacionarse de formas diferentes, tiene implicaciones importantes no sólo a nivel teórico, sino también desde la perspectiva educativa. Hammer (1996b), presenta una comparación entre dos formas diferentes de analizar distintas conversaciones entre los estudiantes, y da cuenta de que la perspectiva del investigador o del maestro respecto al papel que juega el conocimiento de los estudiantes es central para el tipo de decisiones que toma. De manera muy general, si se considera que las concepciones que los estudiantes expresan son entidades estables y unitarias, se buscarán formas de modificarlas y confrontarlas; mientras que si se considera que son elementos que se están configurando y que pueden modificarse de acuerdo al contexto, se buscarán formas de ayudar a los estudiantes a desarrollarlas, refinarlas y reorganizarlas.

La investigación en educación en ciencias ha adoptado mayoritariamente modelos unitarios del pensamiento de los estudiantes, los cuales reflejan marcos conceptuales, concepciones alternativas robustas y etapas de desarrollo. Estos modelos de estructura cognitiva, se adaptarían bien a una fenomenología que fuese consistente a través del tiempo y que presentara coherencia entre las ideas de los estudiantes. La fenomenología que yo he presentado ha sido más variada y compleja, lo cual refuta la atribución de consistencia y coherencia al razonamiento de los estudiantes. Desde mi punto de vista, el conocimiento de los estudiantes y sus procesos de razonamiento, son modelados de forma más adecuada en términos de una ontología múltiple, de recursos de grano fino, que sean sensibles al contexto. (Hammer, 2004, p. 12)

Así, la variabilidad en el pensamiento de los estudiantes, la riqueza que se encuentra en las entrevistas clínicas y en las interacciones en el salón de clases, la evidencia de que los estudiantes

en muchas ocasiones no son coherentes ni consistentes en la aplicación de las concepciones (Gómez Crespo & Pozo, 2001; Pozo & Gómez Crespo, 2005) hace necesaria una perspectiva de análisis diferente, que permita dar cuenta de esta variabilidad y que trate de *explicar* el proceso mediante el cual ésta se construye. Viennot (1985) advierte que una perspectiva que considere que los estudiantes tienen concepciones estables puede implicar, desde el punto de vista del análisis, perder la riqueza conceptual y de razonamiento que tienen los estudiantes. De forma similar diSessa, Elby & Hammer (2003, p. 238) establecen que:

Esto no implica que el razonamiento de los estudiantes acerca de los fenómenos físicos siempre muestre falta de coherencia y sistematicidad. Lo que cuestionamos son 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 pasen por alto evidencias en la conducta de los estudiantes de la activación de elementos de conocimiento de grano más fino y sensibles al contexto. (diSessa, Elby & Hammer, 2003, p. 238)

Los patrones fenomenológicos que se han encontrado en las concepciones de los estudiantes (Talanquer, 2006; Gallegos, 2002), son muy importantes para comprender los procesos mediante los cuales los estudiantes construyen su conocimiento. Sin embargo, la forma en la que estas concepciones varían y la multiplicidad de concepciones que los estudiantes pueden presentar claramente están en contra de considerarlos como atributos estructurales fijos en la mente de los estudiantes (Hammer, Elby, Scherr & Redish, 2005).

La perspectiva de los recursos conceptuales sugiere que para dar cuenta de esta diversidad y de esta variabilidad, es necesario tratar de encontrar aquello que subyace a las concepciones de los estudiantes. El término *recursos conceptuales* es un término genérico que se utiliza para señalar los diversos recursos mediante los cuales los estudiantes le dan sentido a los fenómenos y a las demandas presentadas y que permite dar cuenta de la diversidad de concepciones de los estudiantes, así como de su inconsistencia o de su dependencia del contexto.

Una analogía que se utiliza frecuentemente para describir la perspectiva de los recursos conceptuales proviene del campo de las partículas fundamentales:

Durante la mitad del tiempo que hemos conocido a los protones, los hemos considerado unidades fundamentales. Durante la década de 1960, la fenomenología de la dispersión inelástica profunda dio algunas razones para cuestionar esa perspectiva y los físicos comenzaron a pensar en términos de la sub-estructura

del protón (y el neutrón y otras partículas involucradas en las interacciones fuertes). Sin tener aún evidencia de la naturaleza específica de esas partículas utilizaron deliberadamente el término 'partón'. El término recursos conceptuales es similarmente genérico en este caso: es un modesto paso teórico que permite pensar en entidades más pequeñas que concepciones o teorías intuitivas. Como el modelo del partón, este modelo no propone propiedades específicas para las entidades propuestas. (Hammer, 2004, p. 3)

La perspectiva de los recursos conceptuales es diferente de la perspectiva de las concepciones múltiples en varios aspectos (Hammer, 2004):

1. Los recursos son elementos de *función cognitiva*, más que afirmaciones declarativas acerca del mundo. Por lo tanto, no pueden considerarse verdaderos o falsos; dado que son recursos pueden ser aplicados de forma adecuada o no.
2. Los recursos se activan de acuerdo al contexto y no son aplicados de manera general.
3. Los recursos son múltiples y diversos. Más que atribuir una concepción a un área específica de pensamiento, desde esta perspectiva se considera que son diferentes elementos los que pueden aplicarse en un dominio determinado.

La perspectiva de los recursos permite dar cuenta de la adaptación del pensamiento, dado que patrones más exitosos de pensamiento se usan más frecuentemente y con el tiempo se refuerzan, pudiendo dar origen a lo que usualmente han sido consideradas como concepciones alternativas.

Los recursos se activan en forma de conjuntos, y un conjunto que se activa una y otra vez, puede eventualmente establecerse lo suficiente como para actuar como una unidad cognitiva en sí mismo. (Hammer, Elby, Scherr & Redish, 2005, p. 99)

Es claro entonces que la perspectiva de los 'recursos conceptuales' no elimina la posibilidad de que los estudiantes en ocasiones cuenten con 'concepciones alternativas' que son estables y que pueden ser aplicadas coherente y consistentemente a un rango determinado de fenómenos (Taber, aceptado para publicación). Sin embargo, el de las concepciones estables sería solamente un caso o un elemento dentro de los muchos que conforman la red de recursos con los que cuenta un individuo. Para hacer frente a la diversidad de fenómenos, éstos no son solamente conceptuales, son también epistemológicos, es decir, relacionados con la forma en la que los estudiantes se aproximan a la construcción de conocimientos.

La forma en la que los estudiantes razonan en un curso de física puede reflejar no solamente si tienen o no ciertas habilidades o conocimientos, sino también refleja sus creencias acerca de lo que puede implicar el curso, el conocimiento presentado y el razonamiento requerido. (Hammer, 1996a, p. 10)

Si bien hasta el momento la investigación sobre los recursos epistemológicos con los que cuentan los estudiantes se ha concentrado en la descripción de categorías generales que pueden ser aplicables a una diversidad de fenómenos, cada vez más las investigaciones tratan de considerar la riqueza presente en el razonamiento de los estudiantes, quienes pueden modificar su 'aproximación epistemológica' a un fenómeno de acuerdo a una multiplicidad de factores (diSessa, Elby & Hammer, 2003; Hammer, 2004; Hammer & Elby 2002).

Un tipo de recursos: los primitivos fenomenológicos

Aún cuando desde el punto de vista de Hammer (2004), la perspectiva de los 'recursos conceptuales' no implica que se deba dar cuenta de las 'propiedades' de estos recursos, es evidente que si queremos mejorar nuestra comprensión de los procesos de construcción de los individuos debemos especificar un modelo que describa algunos de los recursos que están disponibles y cómo se asocian en contextos relevantes.

Un tipo de recursos, con esta perspectiva de grano fino y que ha resultado útil para describir los procesos de aprendizaje y para mejorar nuestra comprensión respecto a ellos son los primitivos fenomenológicos (*p-prims*), propuestos por diSessa (1993) en el artículo "*Hacia una epistemología de la física*". Dichos primitivos fenomenológicos se han utilizado para dar cuenta de los procesos de construcción de conocimiento en diferentes dominios y con estudiantes de diferentes edades (Prat & Noss, 2002; Wagner, 2006; Hammer, 1996b; Taber & Tan, 2007; Taber, 2008) y son parte de los recursos que se describen con detalle porque, desde nuestro punto de vista, permiten dar cuenta de algunos de los recursos conceptuales más utilizados en el ámbito que nos ocupa.

De acuerdo con diSessa, al interactuar con el mundo físico, los individuos adquieren un *sentido del mecanismo*, es decir, una idea (*sentido*) acerca de cómo es que funcionan las cosas, cuáles son los eventos necesarios para que algo suceda, cuáles son los eventos posibles o imposibles de ocurrir. Es decir, desde temprana edad, todos los seres humanos contamos con un conocimiento que nos permite interactuar con el mundo y entenderlo. Dicho conocimiento incluye "una esquematización causal prominente, en términos de agentes, pacientes e intervenciones (sintaxis

causal); una tendencia a enfocarse en caracterizaciones estáticas de eventos dinámicos (...) y una fenomenología relativamente rica de equilibrio y balance” (diSessa, 1993, p. 105).

Para diSessa, la *física intuitiva* propuesta por algunos autores como Vosniadou o McCloskey, (McCloskey, 1983; Vosniadou, 1994; Ioannides & Vosniadou, 2002) es una expresión de este *sentido del mecanismo* que, aunque en ocasiones presenta ciertas regularidades, en general, no tiene la sistematicidad necesaria para constituirse en una teoría científica. Esta *física intuitiva*, más bien debería considerarse como un sistema de ‘conocimiento en piezas’, en el que hay una multiplicidad de elementos fragmentarios, que no tienen relaciones estables entre sí.

En este modelo, uno de los elementos del conocimiento más prominentes son los primitivos fenomenológicos (*p-prims*), que son “elementos primitivos del mecanismo cognitivo – la estructura mental más atómica y aislada que se puede encontrar” (diSessa, 1993, p. 112). Estas estructuras se consideran primitivos porque se construyen en etapas muy tempranas de la cognición, básicamente mediante el reconocimiento de patrones generales de comportamiento y son fenomenológicos porque se originan en interpretaciones superficiales de la realidad. Una vez establecidos, los primitivos fenomenológicos son utilizados por los individuos para interpretar y darle sentido a la experiencia en un sentido amplio.

De acuerdo con diSessa (2003, p.38) los primitivos fenomenológicos constituyen la mayor parte de la física intuitiva; éstos son los precursores del conocimiento que se reconstruye para que el individuo llegue a ser competente. Estos primitivos se relacionan de manera muy importante con aquellos aspectos del mundo que son considerados como ‘naturales’ (Taber & Watts, 1996), y se encuentran codificados en términos visuales y quinestésicos dinámicos, lo cual hace que para el individuo no requieran explicación y sean particularmente difíciles de describir (diSessa, Gillespie & Sterly, 2004).

Es posible entonces que los individuos cuenten con un número enorme de primitivos que les permitan darle sentido al mundo que los rodea e interactuar con él, lo cual puede representar un problema importante cuando se está tratando de dar cuenta del funcionamiento del *sistema* en términos de un número mínimo de unidades que lo conforman. Por ello es importante que el analista mantenga una aproximación a las explicaciones que le permita atender al detalle de éstas, pero sin considerar que cada una de las intervenciones de los individuos refleja un *p-prim*.

Aunque no existen una serie de reglas heurísticas que permitan identificar los *p-prims* utilizados por los individuos, puede asumirse que éstos tienen ciertas características que permiten su reconocimiento al analizar las intervenciones de los estudiantes, ya sea durante una entrevista clínica o en el salón de clases. Algunas de estas características son (diSessa, 1993; 2003):

- **Impenetrabilidad:** si los individuos parecen satisfechos al proveer con una descripción como explicación, esto puede indicar la presencia de un *p-prim*.
- **Obviedad:** los *p-prims* se utilizan cuando se requiere explicar fenómenos familiares para el estudiante y cuya naturaleza se concibe como no problemática.
- **Cobertura:** los *p-prims* deben cubrir una amplia diversidad de experiencias comunes, es decir, no deben limitarse a la experiencia escolar con ciertos fenómenos, sino estar presentes en una gama más amplia de fenómenos.
- **Funcionalidad y disponibilidad:** dado que los *p-prims* son parte del *sentido de mecanismo*, mediante el cual los individuos dan sentido al mundo, éstos pueden ser utilizados con base en representaciones intuitivas que se encuentran disponibles en la estructura cognitiva de los estudiantes.
- **Discrepancia:** cuando los estudiantes dan explicaciones que se encuentran alejadas de la física, existe una buena posibilidad de encontrar *p-prims* en las bases de estas explicaciones.
- **Dinámicos:** se desarrollan mediante la reorganización, por lo que más ser extinguidos o reemplazados por los conceptos científicos, pasan a formar parte del sistema complejo que es un concepto científico. En estos casos, los *p-prims* cambian su función y dejan de ser impenetrables.

Para dar una mejor idea de los primitivos fenomenológicos a los que se refiere diSessa, se presentan algunos ejemplos que nos permiten ilustrar este tipo de nociones. Una lista amplia de *p-prims* puede encontrarse en diSessa (1993).

- **P-prim de Ohm.** Llamado de esta forma porque indica que un agente o causa actúa a través de una resistencia o interferencia para producir un resultado determinado. Justifica una serie de proporcionalidades tales como ‘a mayor esfuerzo o intensidad, mayor resultado’; ‘a mayor resistencia o interferencia, menor resultado’. Este *p-prim* puede estar relacionado con lo que Andersson (1986) ha llamado la *experiencia gestáltica de la causa* que es una construcción de los individuos desde una edad muy temprana para “controlar nuestras acciones y comprender lo que ocurre en el mundo a nuestro alrededor” (Andersson, 1986, p. 157).
- **Agente que actúa.** diSessa propuso el *p-prim* ‘fuerza como agente que mueve’ (*force as mover*), para indicar el primitivo que se utiliza cuando un agente actúa de manera abrupta en un objeto causando su desplazamiento o el aumento de su velocidad en la misma dirección. Hammer (1996a) lo llama ‘agente que actúa’ para evitar reducir su uso al ámbito de la física.

Este primitivo se utiliza, cuando el resultado parece permanecer o superar a la causa. Por ejemplo, para explicar por qué un golpe causa el movimiento de una pelota, por qué el golpe de un martillo causa el sonido de una campana, o bien, por qué un evento traumático causa ansiedad.

- **Desvanecimiento (*dying away*).** Este *p-prim* pudiera comprenderse como una abstracción de experiencias diversas tales como el desvanecimiento del sonido de una campana, o la disminución gradual del movimiento de una pelota. Se utiliza en diversas ocasiones para explicar la ‘naturalidad’ de estos fenómenos, con los que se tiene tan amplia experiencia. Si bien, estos fenómenos pueden explicarse en términos de conceptos como disipación o resistencia, la mayoría de las personas siente que es suficiente la ‘explicación natural’ para explicar por qué, por ejemplo, una pelota se detiene gradualmente una vez que no hay una fuerza actuando directamente sobre ella.
- **Equilibración.** Un sistema tiende al equilibrio de manera natural, una vez que desaparece la causa del desequilibrio. Es un ejemplo de un primitivo auto-explicativo, dado que no es posible encontrar explicaciones más allá de ‘la naturaleza de los sistemas’.

Los primitivos fenomenológicos son sólo un tipo de recursos dentro de la multiplicidad que se sugiere desde la perspectiva de los recursos conceptuales. Sin embargo, parecen ser ampliamente utilizados por los individuos al tratar de explicar y darle sentido a la realidad. La *asociación* de estos primitivos puede dar cuenta también de algunas entidades de conocimiento más amplias, estables y aplicadas de forma más general. En palabras de diSessa (1996, p.176):

Aprender, algunas veces significa desarrollar nuevos primitivos fenomenológicos, pero con mayor frecuencia, implica un cambio en su nivel de importancia, o en el contexto en el que alguno es aplicable y en las conexiones con otros *p-prim*s y con otros tipos de recursos. Hablamos en este caso de reorganización y refinamiento de la estructura cognitiva.

La asociación de los recursos

Una perspectiva que considera que cada individuo cuenta con recursos conceptuales múltiples, mediante los cuales le da sentido al mundo que le rodea, permite pensar en un sistema de pensamiento o ‘modelo de la mente’ que responde de maneras diferentes en diferentes momentos. Sin embargo, es muy importante hacer notar que esta variación no es azarosa, esto es, los recursos

conceptuales no se activan o desactivan de manera accidental, sino que debe haber una coherencia local en los recursos que se activan en un momento determinado y permiten configurar la experiencia de una forma específica. Resulta evidente que si el individuo debe usar los recursos de una forma coherente (al menos localmente) la codificación de un fenómeno se lleva a cabo de forma distribuida en todos los elementos que son activados y no particularmente en uno de ellos. Un ejemplo de codificación distribuida son las ‘clases coordinadas’ propuestas por diSessa (1993) y desarrolladas posteriormente por diSessa & Sherin (1998) y diSessa & Wagner (2005).

Las clases coordinadas se consideran elementos del pensamiento de los estudiantes, pero resultan mucho más complejas que los *p-prim*s porque involucran la *coordinación* de diferentes recursos conceptuales, en relación específica con las características particulares de los fenómenos presentados. Tienen una estructura interna determinada por la forma en la que obtenemos información acerca del mundo, llamada *estrategia de lectura* que funciona mediante las inferencias que un individuo puede hacer a partir de un fenómeno al utilizar la información que tiene disponible. Estas inferencias posibles son llamadas la *red causal*, y ésta puede estar formada por elementos múltiples, dentro de los cuales es muy posible encontrar *p-prim*s (diSessa, 2003).

El desarrollo de una clase coordinada, es una tarea compleja dado que está compuesta por elementos diversos que deben integrarse de una determinada manera para lograr que la clase coordinada sea efectiva.

De acuerdo con Hammer, Elby, Scherr & Redish (2005), la activación estable de un conjunto de recursos conceptuales puede llevarse a cabo de tres formas diferentes:

- **Contextual.** Esta activación está basada en la situación y no requiere de recursos epistemológicos que activen intencionalmente un conjunto determinado de recursos. Con el tiempo estos patrones pueden volverse más utilizados y dejan de depender del contexto por completo.
- **Deliberado.** Involucra recursos epistemológicos y metacognitivos. Un individuo generalmente requiere monitorear los recursos conceptuales que está activando y cómo son activados. Con el uso frecuente, un conjunto de activaciones que debe monitorearse para ser consistente puede llegar a ser automático, de forma que se utilice sin el monitoreo deliberado del sujeto.
- **Estructural.** Con el uso repetido, un conjunto de activaciones puede establecerse de tal forma que se convierta en una especie de unidad cognitiva y por lo tanto se establezca como

un recurso en sí mismo. Dicha unidad cognitiva tiene sus condiciones de activación, pero una vez que se activa, la coherencia es automática. Así, la activación de una unidad cognitiva con estas características es contextual, pero su estabilidad es independiente del contexto.

De acuerdo con Redish (2004) el conocimiento, entendido como estas asociaciones emergentes de recursos conceptuales se puede caracterizar en términos de su consistencia (qué tanto se activa en una diversidad de situaciones), su grado de compilación (hasta qué punto el conocimiento se aplica como una unidad en la memoria de trabajo) y su nivel de integración (la diversidad de conocimiento que se encuentra relacionado).

Es claro entonces, como ya se había mencionado, que la activación de los recursos no es azarosa y que es posible relacionar patrones de activación determinados con ciertas características del contexto o, de manera más precisa, con las inferencias que se pueden hacer utilizando los recursos disponibles, en un contexto específico.

Conclusiones

La perspectiva de los recursos conceptuales, que se ha descrito, sienta las bases para tratar de comprender la forma en la que los estudiantes construyen sus explicaciones acerca de los fenómenos naturales. Es a partir de una serie de recursos, de tamaño mucho menor a las 'concepciones alternativas' y la aplicación de estrategias determinadas que los individuos construyen sus explicaciones.

Las concepciones alternativas que han sido objeto de estudio durante muchos años pueden explicarse como asociaciones emergentes que adquieren un carácter mucho más consistente, al ser utilizadas en un número mayor de situaciones (aún en contextos no necesariamente idénticos) y estar relacionadas con una diversidad más amplia de recursos. Desde la perspectiva teórica, esta posición parece más coherente con la posición constructivista desde la que se construye nuestra investigación y que además ha sido casi omnipresente en la investigación en educación en ciencias en las últimas décadas (Taber, 2006).

Se puede pensar que es momento de desarrollar esta perspectiva de forma que se transforme en una perspectiva más operativa, que logre describir con mayor claridad cuáles son los recursos fundamentales con los que cuentan los estudiantes y de forma más importante cómo es que estos recursos se asocian dando lugar a las expresiones que encontramos diariamente en el salón de clases o en las entrevistas con los estudiantes.

Esta perspectiva aún no logra describir aspectos que podrían considerarse fundamentales para comprender el proceso de aprendizaje: ¿cómo es que estas asociaciones de recursos se llevan a cabo?, ¿qué es lo que hace que en un contexto determinado se utilice un conjunto específico de asociaciones?, ¿por qué hay ciertos conjuntos de asociaciones que tienden a adquirir consistencia mientras otros son 'olvidados' o caen en desuso?, ¿qué aspectos del contexto se pueden relacionar de manera clara con un conjunto determinado de asociaciones?

En términos de Hammer (2004), utilizar esta perspectiva para analizar las ideas de los estudiantes respecto a un tema específico puede ser un modesto paso teórico que nos permita comprender y explicar de mejor manera el proceso del cambio conceptual, es decir, cómo es que un estudiante transforma sus nociones intuitivas, la mayoría de las veces alejadas de las nociones científicas, en nociones más poderosas que le permiten explicar de forma más consistente y coherente los diferentes fenómenos naturales.

Referencias

- ANDERSSON, B. (1986) The experiential gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science, *European Journal of Science Education*, 8 (2), 155– 171.
- BELLO, S. (2004) Ideas previas y cambio conceptual, *Educación Química*, 15, 210 – 217
- CLAXTON, G. (1993) 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.
- CLEMENT, J. J. & Steinberg, M. S. (2002) Step-wise evolution of mental models of electric circuits: A "Learning-Aloud" case study. *The Journal of the Learning Sciences*, 11 (4), 389 – 452.
- DISESSA, A. (1993) Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 105 – 225.
- DISESSA A. (1996) What do "Just Plain Folk" know about physics? En D. Olson & N. Torrance (Eds.) *Handbook of Education and Human Development*. (pp. 709 – 730). Oxford: Blackwell.
- DISESSA, A. (2003) Why conceptual ecology is a good idea. En En M. Limón & L. Mason (eds.) *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. (pp. 29 – 60) Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- DISESSA, A. & Sherin, B. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, 20 (10), 1155 – 1191.
- DISESSA, A. A., Elby, A., & Hammer, D. (2002). J's epistemological stance and strategies. En G. M. Sinatra & P.R. Pintrich (Eds.), *Intentional Conceptual Change* (pp. 237-290). Mahwah, NJ: Erlbaum
- DISESSA, A., Gillespie, N. & Esterly, J. (2004) Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force, *Cognitive Science*, 28, 843 – 900.

- DISESSA, A. A., & Wagner, J. F. (2005). What coordination has to say about transfer. En J. Mestre (Ed.), *Transfer of learning from a modern multi-disciplinary perspective* (pp. 121-154). Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- DRIVER, R., & Easley, J. (1978) Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students, *Studies in Science Education*, 5, 61-84.
- DRIVER, R. & Erickson, G. (1983) Theories-in-action: some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science, *Studies in Science Education*, 10, 37-60
- DRIVER, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994) *Making sense of secondary science. Research into children's ideas*. London: Routledge.
- DUIT, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. En W. Schnotz, S. Vosniadou & M. Carretero (Eds.) *New Perspectives on Conceptual Change* (pp. 263 – 282). Oxford: Pergamon.
- ENGEL CLOUGH, E. & Driver R. (1986) A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts, *Science Education*, 70, 473-496.
- FLORES, F. (2004) El cambio conceptual: interpretaciones, transformaciones y perspectivas. *Educación Química*, 15, 256 – 269.
- GALLEGOS, L. (2002) *Comparación entre la evolución de los conceptos históricos y las ideas de los estudiantes: el modelo de la estructura de la materia*. Tesis de doctorado no publicada. Facultad de Filosofía y Letras: UNAM.
- GARCÍA FRANCO, A. (2007a) Using a conceptual resources perspective to analyze learning about the particulate structure of matter. Trabajo presentado en *12^{na} Conferencia de la Asociación Europea de Enseñanza e Instrucción (EARLI)*. Budapest, Hungría.
- GARCÍA FRANCO, A. (2007b) *Representaciones múltiples sobre la estructura de la materia en estudiantes de secundaria y bachillerato*. Tesis de doctorado no publicada. México: Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- GARCÍA FRANCO, A. & Taber, K. S. (2006). Learning processes and parallel conceptions – learning about the particulate nature of matter. Trabajo presentado en el *V Simposio Europeo sobre Cambio Conceptual*. Estocolmo, Suecia.
- GILBERT, J. K., & Watts, D. M. (1983) Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in science education, *Studies in Science Education*, 10, 61-98.
- GÓMEZ CRESPO, M. A. & Pozo, J. I. (2001) La consistencia de las teorías sobre la naturaleza de la materia: una comparación entre las teorías científicas y las teorías implícitas. *Infancia y Aprendizaje*, 24(4), 441-459.
- GÓMEZ-CRESPO, M. A. & Pozo, J. I. (2004) Relationships between everyday knowledge and scientific knowledge: understanding how matter changes. *International Journal of Science Education*, 26, 1325 – 1344.
- HAMMER, D. (1996a) More than misconceptions: Multiple perspectives on student knowledge and reasoning, and an appropriate role for education research. *American Journal of Physics*, 64 (10), pp. 1316 – 1325.
- HAMMER, D. (1996b) 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.

- HAMMER, D. (2004). 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 Física. Versión preliminar disponible en <http://www2.physics.umd.edu/%7Edavidham/varenna3.pdf> (9 de agosto de 2007)
- HAMMER, D. & Elby, A. (2003) Tapping Epistemological Resources for Learning Physics. *Journal of the Learning Sciences*, 12, 53-90.
- HAMMER, D., Elby, A., Scherr, R. E. & Reddish, E. F. (2005) Resources, framing and transfer. En J. Mestre (Ed.) *Transfer of learning from a modern multidisciplinary perspective*, (pp. 89-119). Information Age Publishing.
- IOANNIDIS, C. & Vosniadou, S. (2002) The changing meanings of force. *Cognitive Science Quarterly*, 2, 5 – 61.
- MCCLOSKEY, M. (1983) Naive theories of motion. In D. Gentner and A. Stevens (Eds), *Mental Models*, (pp. 229-324), Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- MINSTRELL, J. (1992). Facets of students' knowledge and relevant instruction. En R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer (Eds.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 110-128). Kiel, Germany: Institute for Science Education at the University of Kiel.
- POZO, J. I. & Gómez Crespo, M. A. (2005) The embodied nature of implicit theories: the consistency of ideas about the nature of matter. *Cognition and Instruction*, 23, 351–387.
- PRATT D., & Noss, R. (2002) The Microevolution of Mathematical Knowledge: The Case of Randomness. *The Journal of the Learning Sciences*, 11(4), 455–488.
- SMITH, J. P., DiSessa, A. A., & Roschelle, J. (1993). Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition. *Journal of the Learning Sciences*, 3 (2), 115-163.
- SOLOMON, J. (1993) The social construction of children's scientific knowledge. En P. L. Black (Ed.), *Children's informal ideas about science* (pp. 85 – 101) Londres: Routledge.
- TABER, K. S. (2008) Conceptual resources for learning science: issues of transience and grain size in cognition and cognitive structure, *International Journal of Science Education*, 30 (8), 1027-1053
- TABER, K. S. (2006) Beyond Constructivism: the progressive research programme into learning science, *Studies in Science Education*, 42, 125-184.
- TABER, K. S. & Tan, K. C. D. (2007) 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.
- TABER, K. S. & Watts, M. (1996) The secret life of the chemical bond: students' anthropomorphic and animistic references to bonding, *International Journal of Science Education*, 18, 557-568.
- TALANQUER, V. (2006) Common sense chemistry: A model for understanding students' alternative conceptions. *Journal of Chemical Education*, 83, 811-820.
- VIENNOT, L. (1985). Analyzing students' reasoning: Tendencies in interpretation. *American Journal of Physics*, 53, 432-436.
- VOSNIADOU, S. (1994). Capturing and modelling the process of conceptual change, *Learning and Instruction*, 4, 45 – 69.
- WAGNER, J. F. (2006). Transfer in pieces. *Cognition and Instruction*, 24 (1), 1–71.

La didáctica de los nanosistemas. Seis décadas en la enseñanza de la Estructura de la Materia

Pilar Rius de la Pola

Introducción

La didáctica de los nanosistemas, analizada en varios niveles, incluidos el aula, la formación de profesores y los planes y programas de la asignatura, muestra orientaciones preferentes a lo largo de las últimas seis décadas. El contenido, el énfasis y el estilo de los cursos relativos a la estructura de la materia y hasta el propio lenguaje se han ido modificando: sistemas atómico-moleculares en los años 40, microsistemas después y actualmente nanosistemas. Han cambiado también los métodos de enseñanza–aprendizaje, la relación estudiante–docente y la de éste con la investigación y la administración, así como el perfil deseable en unos y otros.

Para este estudio se toma como referente la Facultad de Química de la UNAM, que en cierto modo resume las tendencias de todo el país; y también como representante de las corrientes docentes de la época en materia de nanosistemas. Los textos que se han elegido como ejemplo de cada orientación, proceden de varios países y fueron, en su época, mundialmente reconocidos.

En una secuencia no necesariamente histórica, pero en la que se tratará de respetar los tiempos, se presentarán algunas de las orientaciones que marcaron, en las últimas seis décadas, la presentación de los nanosistemas en la licenciatura, tomando como referencia los libros que se utilizaron en su época, como texto o consulta.

Resulta hoy por hoy incuestionable su poderosa influencia (de los libros) en el trabajo en el aula, tanto para los profesores como para los alumnos, constituyéndose en bastantes ocasiones como el referente exclusivo del saber científico”. (Perales y Jiménez, 2002) citados por Garritz (2006).

“Once the majority of chemistry teachers all over the world used textbooks as the main (sometimes the only) source of information, we became, without wanting to... history teachers!” (Chamizo, 2007)

Es también ampliamente reconocida la influencia de los libros de texto en la elaboración de los Planes y Programas de las Instituciones de Enseñanza Superior.

Orientaciones en la didáctica de los nanosistemas

Con propósitos de sistematización se proponen a continuación algunas de las orientaciones preferentes que han marcado diferentes épocas en la enseñanza de la estructura de la materia.

Orientación histórica

Los paradigmas

Corresponde al énfasis en el desarrollo histórico, desde 1920 (Niaz, 2000), durante los 40's y posteriormente histórico- filosófico, a fines de los 50's y un poco en los 60's, con la introducción formal de la mecánica cuántica y su influencia en el pensamiento científico y en la filosofía de la ciencia.

En la orientación histórica, los textos presentan vidas y anécdotas de los científicos; se sitúan los temas de Estructura de la Materia en el contexto de la época en que los descubrimientos y las teorías se incorporaron al conocimiento científico. El atomismo griego, la teoría atómica de Dalton, Avogadro; el concepto de molécula y las teorías modernas a partir del descubrimiento de los rayos catódicos. Las ideas de cuantización se presentan en los textos de esa época desligadas del cuerpo de conocimiento de la química, que conserva una estructura descriptiva y un lenguaje que hoy llamaríamos poco preciso.

Los textos de esos años desarrollan todos los temas de química con base en las ideas de Dalton y Avogadro, con alguna referencia breve a la cuantización de la energía y el modelo de Bohr.

Como ejemplo de tratamiento histórico, se comentan algunos textos:

A Text-book of Inorganic Chemistry, J.R. Partington (1944)

Un texto clásico en el cual muchos capítulos incluyen un recorrido histórico, por ejemplo:

En el capítulo del oxígeno se describe en detalle la teoría del flogisto.

El capítulo de radiactividad dedica un espacio a la transmutación de los elementos.

La Tabla periódica se inicia con referencias históricas: Döbereiner, Dumas, Newlands.

La historia detallada del descubrimiento del hidrógeno; Van Helmont, Cavendish .

El tema de la electrolisis incluye referencias a Berzelius, Daniell, Davy.

En afinidad y reactividad: los alquimistas, Mayow y Berthollet .

En estos textos antiguos se encuentran imprecisiones de lenguaje que han sido corregidas en los textos actuales. Por ejemplo, en el texto citado, algunos conceptos relativos a la estructura de la materia no están muy bien definidos, como sustancia y material:

Las dos clases de fósforo, blanco y rojo difieren completamente en apariencia y propiedades. Aunque son del mismo *material*, fósforo, hay dos *sustancias* diferentes, puesto que tienen diferentes propiedades, por las cuales se reconocen.

Se tratan con mucho detalle los aspectos descriptivos e históricos, pero apenas se mencionan los modelos de los nanosistemas; ni siquiera el modelo de Dalton se trata en extenso: “La teoría atómica de Dalton, el gran principio que guía la química moderna, es tan simple que, como dijo Lothar Mayer “a primera vista no es ilustrativo”.

El átomo de Bohr (se menciona la teoría, pero no el modelo) introduce los números cuánticos que se asocian con las órbitas de Bohr, las líneas espectrales y la “nueva teoría cuántica”

En lo relativo al modelo de Schroedinger, no hay ninguna referencia a ecuaciones de ondas, ni tampoco a los orbitales; sólo en la introducción aparecen las “ondas materiales”:

Los electrones y los protones parecen estar asociados con alguna clase de estructura ondulatoria, estando la longitud de las “ondas materiales” dada por $\lambda = h/mv$, donde h es la constante cuántica de Planck ...

General Chemistry. An Introduction to Descriptive Chemistry and Modern Chemical Theory. L. Pauling (1954)

Se trata de un clásico de la época, en el cual los conocimientos relativos a los nanosistemas vienen precedidos de sus antecedentes históricos y se presentan como “descubrimientos”:

El análisis de curvas experimentales de esta clase (se refiere a la radiación de un cuerpo negro) llevó a Planck al *descubrimiento* de la teoría cuántica”. (itálicas mías)

El carácter ondulatorio del electrón fue *descubierto* por el físico francés Louis de Broglie (nacido en 1892). Mientras hacía un estudio teórico de la teoría cuántica en su tesis de doctorado en la Universidad de París, reconoció que una sorprendente analogía entre las propiedades de los electrones y las propiedades de los cuantos de luz, podía reconocerse, si a un electrón en movimiento, se le

podiese asignar una longitud de onda. Esa longitud de onda se llama ahora *longitud de onda de de Broglie del electrón*” Pauling (1954)

Más adelante, en el apartado 8-7 relativo a la “Mecánica Cuántica y Estructura Atómica”:

“Los electrones que se mueven en torno de un núcleo se describen en la mecánica cuántica por medio de una cierta función matemática llamada *función de onda*. La función de onda para un electrón se llama una *función de onda orbital* y se dice que el electrón ocupa un orbital (más bien que una órbita). El empleo de un nombre diferente indica que el movimiento del electrón de acuerdo con la mecánica cuántica es algo diferente del movimiento en una órbita de Bohr.

Se trata de un texto clásico de los años 50, con el lenguaje de la época en el que algunas de afirmaciones han perdido vigencia. Cuando se refiere al enlace químico:

Este enlace (por pares de electrones) es tan importante, tan universalmente presente en todas las sustancias que el profesor Gilbert Newton Lewis de la U. de California (1875-1946) que descubrió su estructura electrónica lo llamó el enlace químico (itálicas mías)

En las décadas de los 40 - 50's, suelen coincidir las expresiones asertivas de los libros con la enseñanza magistral en el aula, de tarima, con escasa participación de los estudiantes. La preocupación del docente es mostrar y exponer sus conocimientos; los estudiantes decidirán si los aprovechan o no. Se habla y se escribe “*ex cátedra*”, lo cual es hasta cierto punto congruente con los contenidos de la química descriptiva, en la que se puede ser dogmático porque se tiene la evidencia, sustentada en la observación y el experimento, de lo que se está afirmando. Afirmamos que el yodo es un sólido cristalino a temperatura ambiente porque lo estamos viendo.

Que en el tratamiento dogmático se mezclen los conceptos relativos a las partículas elementales con los que describen a los observables, puede atribuirse a la falta de rigor en el lenguaje, que ya se ha mencionado y que acaso inducía este tipo de confusiones.

La orientación histórica en los textos actuales

De los textos que se utilizan actualmente en la Facultad de Química, el Cruz *et al.* (1986) aborda algunos temas con una breve reseña histórica. En textos como este, que presentan los conocimientos con gran detalle, suelen encontrarse fechas, citas textuales, anécdotas y referencias históricas.

Otros textos: Atkins, Laidler, Chang, Levine, Whitten, Gray, Casabó, sólo presentan referencias históricas breves y muy ocasionales.

En estos textos se presentan menos referencias históricas y anécdotas, en favor de un desarrollo más completo del conocimiento que se ilustra con problemas y ejemplos de desarrollo tecnológico y situaciones cotidianas.

La orientación histórica, con su vertiente filosófica y humanista se ha vuelto a proponer recientemente en los planes de estudio, como respuesta a la posible deshumanización de las carreras científicas y técnicas, y concretamente en México, como una reafirmación del compromiso de los universitarios con sus comunidades y con la sociedad en general.

Orientación con énfasis en el Método Científico

Los modelos cuánticos

El énfasis en el método científico, que arranca a finales de los 60, con el establecimiento de la División de Estudios de Superiores (DES) en la Facultad de Química de la UNAM, introduce el aprendizaje de la estructura de la materia presentando experimentos reales, simulados o imaginados a partir de los cuales se formulan hipótesis y se establecen principios que se contrastan con otros experimentos o con la observación del comportamiento de los sistemas:

En cada curso (de ingreso a la licenciatura) se ha puesto énfasis en los principios, más que en los aspectos descriptivos” (Ander, 1965)

Constatar que estos principios nacen de la observación que han hecho Uds. en el laboratorio, les da una visión válida de cómo se producen los avances científicos. Les permite participar en la actividad científica y, en consecuencia, hasta cierto punto, llegar a ser científicos, Uds. mismos. (Pimentel, 1963)

El método científico se enseña y se aplica en el proceso docente, con algunos recursos importantes como la introducción de los modelos que, en palabras de uno de mis estudiantes, “explican muchas cosas, pero no son aplicables en todos los casos”; cuya validez es limitada.

Modelos, axiomas, postulados, filosofía y principios de la mecánica cuántica se trabajan en los cursos de licenciatura. Se presentan reflexiones, problemas, tratamientos matemáticos, y aplicaciones de los modelos cuánticos, prácticamente por primera vez.

En los laboratorios, los experimentos, más que para demostrar propiedades de las sustancias o algún rasgo del comportamiento de los materiales, como ocurrió en años anteriores, se realizan “a priori” y tienen el propósito de inducir preguntas de los estudiantes, a fin de lograr que ellos lleguen, guiados por el profesor, a conclusiones acerca de los procesos químicos: se enfatiza la importancia del experimento como punto de partida del conocimiento en la modalidad docente de “enseñanza por descubrimiento”.

Siempre que ha sido posible se ha utilizado el método de la investigación: Primero se presentan los hechos experimentales y después se propone una teoría que explique los hechos (Ander, 1965)

Esperamos que compartan (los estudiantes, al término del curso) la emoción de la ciencia y que sientan ese vivo placer que se deriva del descubrimiento (Pimentel, 1963)

En la vida universitaria, como consecuencia de los movimientos del 68 en todo el mundo y en particular en México, la década de los 70 es un parteaguas en la enseñanza de los nanosistemas y en muchas otras situaciones universitarias, como por ejemplo la relación del estudiante con las Instituciones y con los claustros y la relación de las Instituciones de Enseñanza Superior con los gobiernos y con la sociedad.

En el aula coinciden el cambio de los métodos didácticos, la explosión de la demanda de educación superior y una nueva generación de textos (CBA, 1964), (Gray, 1967), (Huheey, 1972), (Ander y Sonnessa, 1965), (Cartmell y Fowles, 1979), (Chemical Education Material Study, 1963), por presentar sólo algunos ejemplos

Además, irrumpió en la vida académica una generación de estudiantes que habían vivido el 68 y tenían ideas muy claras acerca de la misión y compromiso de la Universidad con la sociedad, de las atribuciones de las autoridades, y de los derechos – incluido todo lo relativo al proceso docente – de los estudiantes.

El método científico en los textos de los programas vigentes.

El enlace químico

En los años finales de los 60's en los que se ha situado el principio de la orientación científica, el enlace químico no podía tratarse con extensión, porque los fundamentos de la mecánica cuántica

y el tratamiento de los orbitales atómicos ocupaban, por mucho, la mayor parte del curso, que frecuentemente terminaba con el átomo de hidrógeno. Cuando se trataba el enlace químico, en las optativas de los últimos años de la licenciatura se utilizaban los modelos del enlace de valencia y del orbital molecular. En los primeros semestres, sólo se hacía referencia al modelo de Lewis.

Los compuestos no iónicos se forman cuando electrones de la capa de valencia de los átomos se comparten con los átomos que participan en la formación del enlace. El enlace así formado se llama enlace covalente.

El enlace covalente resulta cuando dos electrones, uno de cada átomo se comparten por igual por cada átomo y no pertenecen exclusivamente a ninguno. Los electrones están restringidos a las regiones entre los núcleos de los dos átomos y se dice que son electrones localizados (Ander, 1965).

Con el punto de vista mecano cuántico del átomo, se puede aprovechar este enfoque unificado hacia el concepto central de la química: el enlace químico (Pimentel, 1969)

El enlace químico es la orientación de los programas vigentes en los que se tratan a nivel introductorio los conceptos asociados a las teorías actuales de la estructura de la materia y se enfatiza lo relativo la naturaleza del enlace químico.

En el programa actual, aproximadamente la mitad del tiempo lectivo está destinada al enlace químico. Más aún, si se observa el tratamiento de los fundamentos de la mecánica cuántica y los orbitales atómicos, puede considerarse que buena parte del otro 50% está destinado a establecer las bases para un enfoque simplificado de los aspectos cuánticos del enlace químico, que es el tema central (Programa de Estructura de la Materia, Anexo).

En la orientación actual de la asignatura, se revisan los modelos del enlace químico, desde Lewis, el modelo de Enlace de Valencia y el del Orbital Molecular, (Cartmell, 1979):

“El planteamiento del orbital molecular comienza por considerar un sistema molecular estable en el que los núcleos están en sus posiciones de equilibrio y conduce a funciones de onda moleculares que describen estados de energía de la molécula (orbitales moleculares) en los cuales se pueden colocar los electrones”

Los textos que se utilizan en los programas vigentes presentan algunos modelos matemáticos y físicos, pero se elude por completo el tratamiento y desarrollo de la parte física y matemática

en ambos casos. Actualmente el énfasis es sobre todo en el enlace químico, y los principios de la mecánica cuántica se presentan como antecedentes para sustentar un tratamiento detallado de los orbitales atómicos y moleculares, de las moléculas, las estructuras iónicas y los metales.

El tratamiento del modelo de Lewis, que hasta la década de los 80 había sido el más extenso, deja paso a los modelos cuánticos y queda reducido a los ejemplos clásicos, a pesar de su indudable valor didáctico, y de que, no obstante su sencillez, adecuadamente utilizado, enseña mucha química. Se presenta con detalle en los libros que se utilizan en los cursos actuales: (Casabó, Cruz, Atkins, Levine, Gray, Laidler, Chang, Brown).

Es posible que este cambio se deba al propósito relativamente reciente de dar a las licenciaturas una orientación más profesionalizante, en contraste con el sesgo del método científico de las décadas anteriores, lo que se aprecia no sólo en el estudio de la estructura de la materia, sino también en otras asignaturas básicas como las matemáticas, y las químicas analíticas, por ejemplo, que tienen asignado un menor número de horas en los programas vigentes.

Estructura Atómica y Enlace Químico. J. Casabó (1996)

Ampliamente recomendado en la actualidad, compara, en unas cuantas líneas, las hipótesis y principios de la Mecánica Clásica, con los fundamentos de la Mecánica Cuántica:

En la mecánica cuántica existen, también, (como en la Mecánica Clásica) unos postulados fundamentales que la gobiernan y que deben conocerse para comprender la naturaleza de los átomos y su comportamiento.

Sigue el principio de incertidumbre, la dualidad onda partícula, la cuantización de la energía y la ecuación de Schroedinger, en unos cuantos párrafos. Se presentan las ecuaciones sin justificarlas o discutir las y se llega al concepto de orbital a través de la presentación de la ecuación de Schroedinger. El libro está dirigido al tratamiento del enlace químico y dedica más de la mitad de sus 12 capítulos al desarrollo del tema, entre los cuales dos están destinados al modelo de Lewis – Gillespie.

El modelo de enlace de valencia se centra en los orbitales híbridos y el del orbital molecular se describe con detalle, en un nivel elemental.

Se denominan orbitales híbridos a cualquier combinación lineal de funciones de onda degeneradas. Los orbitales híbridos son muy útiles para explicar la estereoquímica de las moléculas complejas

El enlace se genera por el solapamiento de dos orbitales atómicos que superponen sus respectivas zonas de mayor probabilidad de encontrar a sus respectivos electrones

Orientación centrada en el estudiante, sus capacidades y su entorno.

El proceso de enseñanza- aprendizaje dirigido a las ideas y actitudes del estudiante.

En las últimas décadas ha habido en el aula un desplazamiento paulatino desde la exposición magistral, el método científico y la enseñanza por descubrimiento, hasta el proceso de enseñanza aprendizaje centrado en el estudiante; un proceso en el cual no vale elaborar los programas pensando en lo que –según criterios cambiantes– el estudiante debe aprender, sino en lo que es capaz de aprender de acuerdo con sus ideas previas, antecedentes y capacidades, teniendo en cuenta, además, el tiempo de que dispone.

Proceso que tiene, entre otras premisas, la de considerar la capacidad del estudiante para el aprendizaje y la necesidad de adecuar los contenidos a esa premisa, en lo que se llamó, hace muchos años, principio de la economía de la enseñanza. En palabras de Ortega y Gasset (1930):

El principio de economía no sugiere sólo que es menester economizar, ahorrar en las materias enseñadas, sino que implica también esto: en la organización de la enseñanza superior, en la construcción de la Universidad, hay que partir del estudiante, no del saber, ni del profesor. La Universidad tiene que ser la proyección institucional del estudiante, cuyas dos dimensiones esenciales son: una, lo que él es: escasez de su facultad adquisitiva de saber; otra, lo que él necesita saber para vivir

La preocupación por los aspectos docentes de la transmisión del conocimiento en las licenciaturas no había tenido antes la importancia que ha venido adquiriendo en las últimas dos décadas. Las maestrías, diplomados y doctorados de corte docente son ya parte importante de los estudios de posgrado, y sus propuestas, imprescindibles en la modernización de la docencia en la licenciaturas.

Entre estas propuestas, en lugar destacado: el proceso docente centrado en el estudiante, con temas como las concepciones alternativas, o cambios conceptuales, los modelos y el conocimiento pedagógico del contenido, este último, como responsabilidad de los docentes. También la resolución de problemas reales y los aspectos sociales de la ciencia y la tecnología

Se parte de materiales, procesos y situaciones que al estudiante le son familiares y que se relacionan con su medio social y se consideran las características, antecedentes, conocimientos e ideas previas y formación del estudiante, como elementos esenciales del proceso docente.

La interdependencia sociocultural y económica han conducido de manera natural a plantear el estudio de la ciencia, en sus relaciones con la tecnología en un contexto social: Ciencia Tecnología y Sociedad (CTS) (Hodson, 1992; Riós y Solbes, 2003; Vázquez-Alonso, 2007)

El desarrollo de sistemas, tecnologías y vías comunicación promueve la circulación abundante y casi instantánea de información, ideas, productos y servicios, lo que conduce a la generalización de ideas gustos y hábitos y repercute en la homogeneización cada vez mayor y más universal que se refleja en la transformación de las identidades personales y sociales. La ciencia y la tecnología impregnan la vida cotidiana de estas sociedades y ciertos productos del proceso científico y tecnológico llegan, tal vez como nunca, a los ciudadanos”...”Simultáneamente, estudios internacionales revelan los bajos niveles de conocimiento de los jóvenes (OCDE, 2001) (Rebelo et al., 2007)

En la Facultad de Química, en el programa de Ciencia y Sociedad, se enuncian los objetivos de la asignatura:

El objetivo general de la asignatura Ciencia y Sociedad es preparar a los alumnos de la Facultad de Química para que se transformen en personas que comprendan la dimensión social y humana de las actividades científicas y tecnológicas, así como sus alcances y posibles consecuencias (programa de Ciencia y Sociedad en la Facultad de Química de la UNAM, 2006)

Ideas previas o concepciones alternativas.

Recientemente se han planteado la conveniencia de explorar las ideas previas de estudiantes (concepciones alternativas o cambios conceptuales) acerca de los temas de las asignaturas, (Taber 2002; Kind, 2004; Bello, 2007).

Las ideas previas son construcciones individuales, representaciones mentales del mundo, que permiten entender el entorno y actuar de manera acorde con ellas. Implican la formación de un esquema de pensamiento diferente al esquema conceptual científico. El esquema de pensamiento alternativo se conoce entre los investigadores educativos como *esquema representacional*. El cambio conceptual

parte entonces de las concepciones alternativas o ideas previas estudiantiles, en la búsqueda de cómo llegar en sus mente al conocimiento científico.”...”las ideas previas limitan, condicionan y dirigen el aprendizaje; al no abordarlas explícita y adecuadamente durante los procesos educativos escolarizados, se corre el riesgo de que los conceptos aprendidos sea deficientes, incoherentes e, incluso, lleven al rezago escolar. (Bello, 2007).

En la obra citada se encuentran ejemplos de puntos de vista acerca del cambio conceptual, su captura y modelación, los conceptos como sistemas de conocimiento así como tendencias y propuestas.

En la obra de Kind (2004), citada anteriormente y traducida por el Seminario de Investigación Educativa se encuentra profusión de ejemplos y procedimientos de captación de las ideas previas de los estudiantes, en materia de elementos compuestos y mezclas, procesos químicos, estequiometría, enlace químico, termodinámica y otros.

En materia de modelos y de resolución de problemas, que son temas conocidos y ampliamente utilizados en las clases de química y, particularmente, en lo relativo a partículas elementales, me limitaré a remitir al lector a dos referencias: Chamizo (2006) para el primero y Gomez- Moliné (2007) para el segundo. Y a señalar que aunque son temas de uso cotidiano en las clases de química, el tratamiento y manejo de la información están dirigidos a facilitar al estudiante la adquisición del conocimiento y de las destrezas necesaria para su aplicación.

Conclusiones

En este apartado se presentan algunas conclusiones y reflexiones, también algunas interrogantes a las que no he podido encontrar respuesta.

- Las tres primeras orientaciones que se han discutido son eficaces en relación con el proceso docente de las partículas elementales.
- Ninguna de las tres orientaciones debe ser subestimada en el planteamiento de estrategias para la didáctica de la química, en general y de los nanosistemas en particular. El peso que se asigne a cada una de ellas en el programa de la asignatura dependerá de sus objetivos específicos, en el plan de estudios.
- Es posible considerar una modalidad histórico - filosófica que va mas allá de la biografía y la anécdota, que aborde desde este punto de vista los principios de la mecánica cuántica y sus

repercusiones en todo el ámbito del conocimiento. Es incluso recomendable que no se eludan los aspectos filosóficos de la mecánica cuántica, en vista de que pueden ser auxiliares en la comprensión de la naturaleza de esta ciencia.

- En todo caso, conviene mantener una orientación científica en los cursos universitarios de Estructura de la Materia porque, de acuerdo con muchos de los planes de estudio de licenciatura, es ésta la única oportunidad que el estudiante tiene de estar en contacto con los métodos modernos de acceso al conocimiento de los sistemas pequeños y de los intercambios de energía en el ámbito atómico y molecular, que pasan necesariamente por los modelos y principios de la mecánica cuántica.
- Los modelo de Lewis y Lewis - Gillespie que aportan mucho conocimiento químico, se pueden explicar sin el sustento de la mecánica cuántica pero los otros modelos, no.
- Sin los fundamentos de orbitales atómicos, adecuadamente desarrollados, el modelo de Enlace Valencia quedaría reducido a un tratamiento esquemático y muy pobre de los modelos de hibridación. Lo mismo en lo que se refiere al modelo de Orbitales Moleculares que se concretaría a la presentación de diagramas de correlación, omitiendo las funciones de onda de orbital molecular, su construcción y su significado.

Por todo lo anterior un curso sobre nanosistemas tendría que ser teórico - práctico, o bien realizar experiencias de cátedra o presentar, por ejemplo, modelos moleculares y construcciones de orbitales en una pantalla. También una colección de preguntas y problemas bien diseñada y detalladamente resuelta. Y una serie de lecturas dirigidas a que el estudiante perciba que en la práctica, la síntesis de nuevos materiales y el establecimiento de correlaciones de estructura – actividad necesitan de los métodos de la mecánica cuántica. Aún así, todavía hay varias interrogantes:

- Con el mismo programa se puede elegir cualquiera de las orientaciones para poner en ella un mayor énfasis ¿cómo saber cuál es más eficaz que otra?
- ¿Es siempre una nueva orientación mejor (en el sentido de favorecer el aprendizaje del estudiante) que la anterior? ¿Se puede elegir más de un énfasis durante un curso, sin omitir o reducir los otros contenidos?
- ¿Cómo se puede diferenciar una “moda” de un verdadero avance en el proceso de enseñanza aprendizaje, antes de que hayan transcurrido 20 años de uso (desacertado) en el aula?
- Es muy probable que la enseñanza centrada en los cambios de las concepciones e ideas de los estudiantes haya llegado para quedarse y la docencia ex *cátedra* sea en breve, cosa del pasado.

- Es de esperar que, con base en el proceso de enseñanza aprendizaje centrado en el estudiante, se vayan enriqueciendo los cursos de Estructura de la Materia, con el refinamiento de los modelos, la resolución de problemas que pongan a prueba la creatividad de los alumnos, y también la creatividad y conocimiento pedagógico de los contenidos, en los docentes.

Referencias

- ANDER,P,Sonnessa,J.A. (1965). *Principles of Chemistry.An Introduction to Theoretical Concepts*, New York:The Macmillan Company.
- CARTMELL, E.,Fowles, G.W.A. (1979). *Valencia y Estructura Molecular*, Barcelona, Editorial Reverté S.A.
- CASABÓ, J (1999). *Estructura atómica y Enlace Químico*, Barcelona, Editorial Reverté, S.A.
- CASTELLAN, G.W. (1984). *Physical Chemistry*,.Massachusetts,Addison-Wesley.
- CRUZ-GARRITZ D., Chamizo J.A. y Garritz A.,(1986). Estructura Atómica. Un Enfoque Químico, México,Addison-Wesley Iberoamericana.
- CHAMIZO, A. (2007). Teaching Modern Chemistry through 'Recurrent Historical Teaching Models' *Science&Education*, 16(2), 197-216
- CHAMIZO, A. (2006). Química dialéctica. Sobre aprendizaje, modelos y realidad, *Metl I*, Universidad Nacional Autónoma de México, pp 66 -81
- CHANG, R (1994). *Química*, IV edición, México: Mc Graw Hill.
- CHEMICAL EDUCATION MATERIAL STUDY.(1963). Pimentel, G.C., Editor, Chemistry, San Francisco: W.H.Freeman and Company.
- CBA (1964). *Chemical Systems*, New , New York, Mc Graw-Hill Book Company
- CBA (1968). *Sistemas Químicos*. Guía del Profesor. Barcelona: Editorial Reverté,S.A.
- DANIELS, F. (1953). *Outlines of Physical Chemistry*,New York, J.Wiley
- COULSON, C.A.(1961). *Valence*, London, Oxford University Press
- GARRITZ, A., Chamizo, J.A. (2001). *Tú y la Química*. México: Pearson. Prentice Hall.
- GETMAN, Frederick Hutton, and Daniels, F.(1943). *Outlines of Physical Chemistry*, New York John Wiley and Sons Inc.
- GRAY, H.B. , Haight, Jr, G.P.(1967). *Basic Principles of Chemistry*, New York,W.A. Benjamin, Inc.
- 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] pp 541 – 562
- KIND, V.(2004). *Más allá de las apariencias*, México, Santillana. Traducción (SIE, Facultad de Química, UNAM) de *Beyond Appearances. Students' Misconceptions about Basic Chemical Ideas*, London, Royal Society of Chemistry (2000)
- NÍAZ, M. and Rodríguez, M.A. (2000). Teaching chemistry as a rethoric of conclusions or heuristic principles- A history and philosophy of science perspective. *Chemistry Education: Research and practice in Europe*. 1 (3) pp. 315-322

- ORTEGA y Gasset, J (1930). *Misión de la Universidad*, Madrid, Revista de Occidente
- PARTINGTON, J.J. (1944). *A Text – Book of Inorganic Chemistry*, London, Mc Millan and CO., Limited.
- PAULING, L.(1954). *General Chemistry. An Introduction to Descriptive Chemistry and Modern Chemical Theory*, San Francisco: W.H. Freeman and Company
- PAULING, L. (1965). *Uniones Químicas*, Buenos Aires, Editorial Kapelusz. (traducción de la 3ª edición de *The nature of the chemical bond* , New York, Cornell University Press, 1960)
- PIMENTEL, G.C., ed (1963). *CHEMISTRY an Experimental Science, (CHEMICAL EDUCATION MATERIAL STUDY)*, San Francisco, W.H. Freeman and Company
- PIMENTEL, G.C. and Spratley, R.D. (1969). *Chemical bonding clarified through quantum mechanics*, San Francisco, Holden – Day
- TABER, K.S. (2002). *Chemical Misconceptions – Prevention, Diagnosis and Cure*, Volume 1 and 2, Royal Society Of Chemistry, Londres
- VAZQUEZ-ALONSO, A., Manassero-Mas, M.A., Acevedo-Díaz, J.A., Acevedo-Romero, P.(2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: la ciencia y la tecnología en la sociedad. *Educación Química* 18 [1] pp 38 – 55
- WHITTEN, W.K., Davis, R.E. y Peck, M.L. (1998). *Química General*, quinta edición, Madrid, McGrawHill. Traducido de la quinta edición en inglés: *General Chemistry*, MCMXCVI, Saunders Publishing Co.

Anexo: El programa de la asignatura

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE QUÍMICA

PROGRAMAS DE ESTUDIO SEGUNDO SEMESTRE

Asignatura ESTRUCTURA DE LA MATERIA	Ciclo TRONCO COMÚN	Área FÍSICA Y QUÍMICA TEÓRICA
--	-------------------------------------	--

HORAS/SEMANA					
OBLIGATORIO	Clave	TEORÍA 3 h	PROBLEMAS 0 h	PRÁCTICA 0 h	CRÉDITOS 6

Tipo de asignatura:	TEÓRICA
Modalidad de la asignatura:	CURSO

ASIGNATURA PRECEDENTE: Ninguna.
ASIGNATURA SUBSECUENTE: seriación obligatoria con Química Orgánica I y Química Inorgánica I.
OBJETIVO(S):
Conocer a nivel introductorio algunas de las ideas y de los conceptos centrales asociados con las teorías, modelos y aproximaciones que utilizan los químicos actualmente para abordar el estudio de la estructura de la materia.
Adquirir las nociones básicas sobre la interacción entre la radiación electromagnética y la materia, así como de su aplicación para estudiar la estructura de la materia.
Utilizar los conceptos básicos de las teorías del enlace químico en sistemas de interés para los campos de la química orgánica e inorgánica.

UNIDADES TEMÁTICAS

NÚMERO DE HORAS POR UNIDAD	UNIDAD
12	1. FUNDAMENTOS DE MECÁNICA CUÁNTICA. 1.1 Naturaleza de la radiación electromagnética. Modelo ondulatorio e hipótesis del fotón. 1.2 Hipótesis de De Broglie. Experimentos que detectan la naturaleza dual del electrón. 1.3 Principio de Incertidumbre de Heisenberg. 1.4 Ecuación de Schroedinger. Interpretación probabilística de la función de onda.
12	2. ESTRUCTURA ATÓMICA. 2.1 Presentación de la ecuación de Schroedinger para el átomo de hidrógeno en coordenadas esféricas polares. 2.2 Los números cuánticos. Parte radial y angular de las funciones de onda del átomo de hidrógeno. Concepto de orbital. 2.3 Cálculo de la energía. Introducción a la espectroscopia atómica: transiciones entre niveles energéticos para el átomo de hidrógeno y iones hidrogenoides. 2.4 Átomos polielectrónicos. Principio de exclusión de Pauli. Configuraciones electrónicas. Carga nuclear efectiva. 2.5 Propiedades periódicas. Radios atómicos y radios iónicos. Energía de ionización. Afinidad electrónica.

18	3. ESTRUCTURA MOLECULAR. 3.1 Enlace por pares de electrones. Estructuras de Lewis. 3.2 Electronegatividad. Definición del enlace iónico, covalente y covalente polar. Momento dipolar. 3.3 La teoría de las repulsiones entre los pares de electrones de la capa de valencia. 3.4 Geometría molecular. 3.5 Modelo de orbitales híbridos. 3.6 Modelo de los orbitales moleculares.
6	4. FUERZAS INTERMOLECULARES. 4.1 Puente de hidrógeno. Interacción dipolo-dipolo. Interacción dipolo-dipolo inducido. Interacción tipo Lennard-Jones.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

1. Casabó i Gispert J., Estructura Atómica y Enlace Químico, Editorial Reverté, 1996.
2. Cruz-Garriz D., Chamizo J. A. y Garriz A., Estructura Atómica. Un Enfoque Químico, Addison-Wesley Iberoamericana, 1987.
3. Brown T. L., LeMay H. E. Jr. y Bursten B. E., Química. La Ciencia Central, Prentice-Hall, 1998.
4. DeKock, R.L. and Gray, H.B., Chemical Structure and Bonding. Benjamin/Cummings, Menlo Park, 1980.
5. Gillespie, R. J. And Popelier, P.L.A., Chemical Bonding and Molecular Geometry. From Lewis to electron densities. Oxford University Press, New York, 2001.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

1. I. N. Levine, Fisicoquímica, McGraw-Hill, 1999.
2. Huheey J. E., Química Inorgánica. Principios de estructura y reactividad. Oxford University Press (1998).
3. Petrucci R. H. y Harwood W. S., Química General, Prentice-Hall (1999).
4. Chang, R., Química, McGraw-Hill Interamericana, 1999.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

En virtud de la complejidad inherente a los diversos temas que comprenden la asignatura y a que la misma no es autocontenida, ya que requiere para su desarrollo de aspectos de las matemáticas y de la física que no es posible contemplar explícitamente en el temario, se sugiere un enfoque conceptual, no formal ni riguroso, de las diferentes unidades que comprenden el curso.

FORMA DE EVALUAR

Para la evaluación del aprendizaje de los alumnos se sugiere la inclusión y ponderación de los siguientes aspectos:

Calificación obtenida en los exámenes parciales (se recomienda un examen parcial por cada unidad del temario)

Calificación de las tareas

Participación en clase.

PERFIL PROFESIOGRÁFICO DE QUIENES PUEDEN IMPARTIR LA ASIGNATURA

La asignatura deberá ser impartida por profesores que cuenten con estudios de posgrado en áreas afines a la fisicoquímica.

La asignatura podrá también ser impartida por profesores que posean el título de licenciatura y que se encuentren cursando estudios de posgrado en alguna de las áreas ya mencionadas, siempre y cuando hayan participado previamente en el programa de formación de profesores con que cuenta la facultad, bajo la asesoría de alguno de los profesores de mayor experiencia en lo que respecta a la enseñanza de esta asignatura.

Las interpretaciones de los alumnos sobre la estructura de la materia

Rosa Margarita Gómez Moliné

Introducción

En la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán se imparte la asignatura de Química General a varias carreras y en todas ellas el número de reprobados en esta asignatura es considerable, como lo atestiguan diferentes profesores.

A fin de aportar estrategias para superar este problema se han aplicado exámenes diagnóstico y evaluado los conocimientos de los alumnos de primer ingreso a la Facultad. En la mayoría de los casos, dichos conocimientos no corresponden a aquellos que los autores de los Planes de Estudio del Nivel Medio Superior suponen que los alumnos son capaces de adquirir, gracias al proceso enseñanza aprendizaje seguido.

Por otra parte, se ha observado cómo los programas de Química General de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán son demasiado ambiciosos, ya que presuponen que los alumnos han aprendido significativamente los conocimientos del Nivel Medio Superior. Los resultados obtenidos con diversos grupos y profesores ponen de manifiesto que solamente un pequeño grupo, alrededor de 15 % de los estudiantes están bien preparados y dispuestos a estudiar.

En este estudio, nos interesa optimizar las preguntas de los exámenes diagnóstico, para poner de manifiesto las ideas previas de los estudiantes que, por una parte son compartidas con estudiantes de muchos países, pero no son las mismas para cada estudiante en particular y cuya importancia ha sido ampliamente demostrada.

Antecedentes

La literatura especializada en enseñanza de las Ciencias muestra, desde hace treinta años, cómo los estudiantes construyen sus ideas, sus representaciones de la realidad a partir de sus propios referentes, su medio ambiente y su "lógica" cercana al sentido común, conformado patrones de aprendizaje, a veces, distintos de los del profesor y de los de la Ciencia. Estas ideas se conocen como "ideas previas",

“concepciones alternativas” u “obstáculos epistemológicos” y son las que, generalmente, ocupan el lugar de los conceptos elaborados por la Ciencia y son la base de la Química.

Su identificación ha originado un gran número de publicaciones, la mayor parte de ellas han sido recopiladas y sintetizadas, entre otros, por Gabel (1998), Astolfi (1999), Peterfalvi (1997 a,b), y Kind (2004),

Cuando algunos alumnos no adelantan en el campo de la ciencia, a menudo no se debe tanto a su falta de capacidad, o a la dificultad de la materia, sino a la forma como se les presenta los nuevos conocimientos. Cuando estos conocimientos les resultan demasiado desconocidos o demasiado diferentes de lo que saben, no alcanzan a encontrarle interés ni valor. Las palabras y las formas lingüísticas no tienen significado para ellos y la ciencia les parece un conocimiento secreto, sólo comprensible para los científicos.

Autores como Duschl (1995), Campanario (2000), Gómez (2000), Roca (2005) y Márquez (2003 y 2006) consideran que el lenguaje oral, la conversación y la interacción en el aula son instrumentos fundamentales en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Por lo tanto, las preguntas planteadas por el profesor son básicas en la gestión del diálogo en el aula y en el fomento de participación e implicación del alumnado.

Pero no todas las preguntas contribuyen del mismo modo al aprendizaje y a la evaluación. Particularmente Márquez (2003 y 2006), trata de caracterizar las buenas preguntas, definiendo los tipos de preguntas que pueden ayudar a acercar los contenidos científicos al alumnado, es decir, ayudarle a aprender y propone analizar cuatro aspectos:

- a. Preguntas abiertas y preguntas cerradas
- b. Preguntas sobre objetivos bien definidos
- c. Criterios para escoger o formular preguntas
- d. Recomendaciones para formular buenas preguntas

A. Preguntas abiertas y preguntas cerradas

Se considera que una pregunta es cerrada cuando es de respuesta única, y se puede copiar del libro de texto o de la explicación del profesor y memorizarla. Las preguntas cerradas suelen conllevar una respuesta corta y su característica principal es que al contestarlas el alumnado básicamente reproduce un conocimiento.

En contraposición, una pregunta abierta promueve en el alumnado la búsqueda de información y una re-elaboración sus ideas. Por lo general, no suelen tener una respuesta única. Aunque no haya

relación entre el nivel cognitivo de la demanda y el hecho que la pregunta sea abierta o cerrada, generalmente las preguntas abiertas promueven que el alumno produzca conocimiento y al tener que pensar en respuestas distintas, adquiere habilidades de pensamiento creativo.

B. Preguntas sobre objetivos bien definidos

En segundo lugar se considera que las preguntas empleadas en el aula pueden tener distintos objetivos, por ejemplo no es lo mismo saber qué piensan o saber qué saben los alumnos. Si queremos que los alumnos respondan de un modo activo no vale todo tipo de preguntas, no es lo mismo iniciar la pregunta con la expresión ¿Que piensan que ocurre...? ¿Cómo piensan que ocurre...? a plantear ¿Cómo ocurre...? ¿Qué ocurre...?. Las primeras preguntas están centradas en la persona y para responderlas el alumno debe movilizar sus conocimientos, mientras que las segundas están centradas en el tema, y lo que debe hacer el alumno es buscar la respuesta correcta que implícitamente se supone que es una y que él sabe o no sabe. Se considera que las preguntas del primer tipo, las centradas en la persona, favorecen más la participación y la implicación en el aprendizaje, ya que se pueden contestar con las ideas propias y no es condición indispensable contestar con la idea correcta.

Si el objetivo es conocer el aprendizaje significativo del estudiante, hay que recurrir a las preguntas que ponen al alumno ante la necesidad de elaborar una respuesta, generalmente en forma de texto oral o escrito, que implique poner en juego sus conocimientos y los conocimientos que se están trabajando en el aula.

C. Criterios para escoger o formular preguntas

Otro posible aspecto es considerar los distintos procesos que intervienen en el estudio de los fenómenos naturales y en su explicación científica:

En primero lugar, la observación y la descripción. Hay muchas preguntas al respecto, es decir sobre los componentes y la estructura del fenómeno objeto de estudio. Son las preguntas que plantean: ¿Cómo?, ¿Dónde?, ¿Cuáles?, ¿Cuántos?, ¿Qué pasa?, ¿Cómo pasa?

En segundo lugar, se establecen diferentes tipos de relaciones causales entre los componentes del fenómeno observado, haciendo comprobaciones, es decir buscando evidencias, sea a través del análisis experimental, del análisis de datos, etc... y se plantean las relaciones causa/efecto, empleando preguntas que buscan el establecimiento de las relaciones causales implicadas. Son las que plantean el ¿por qué?, ¿Cuál es la causa de? ¿Cómo te explicas que?

El establecimiento de las diferentes relaciones causales y su comprobación permite llegar a la generalización o a la elaboración de una explicación o teoría. Esta generalización, deberá servir

para hacer predicciones e hipótesis sobre nuevos fenómenos, también deberá poder aplicarse en la gestión y formulación de opiniones argumentadas.

Las preguntas que requieren de la generalización o el enunciado de la teoría también están presentes de manera significativa en las aulas. Son aquellas que nos preguntan: *¿Qué es?*; *¿Qué diferencia hay?* *¿Por qué según la teoría...?*

Las preguntas sobre las pruebas o evidencias que han permitido llegar a una idea, del tipo: *¿Cómo se puede saber?* *¿Cómo se puede demostrar...?*, no son muy comunes, pero aportan información acerca de la profundidad y del interés del estudiante por el tema.

También las preguntas que demandan hacer una predicción, como: *¿Qué consecuencias?*, *¿qué pasaría si...?*, es decir, aquellas que requerirían una respuesta en la que es necesario el uso del condicional, o las que plantean actuaciones ante una determinada situación problemática, requiriendo la formulación de propuestas de acción, opiniones o valoraciones justificadas, tales como: *¿Qué se puede hacer?*, *¿Cómo se puede resolver?*

D. Recomendaciones para formular buenas preguntas

La aportación de la gramática contextual, el análisis de las preguntas de los libros de texto y la reflexión sobre la propia experiencia en el aula llevaron a Roca (2005) y Márquez (2006) a considerar tres aspectos para plantear buenas preguntas:

La necesidad de un contexto. Toda pregunta debe, en primer lugar, estar *contextualizada*, es decir contener indicadores implícitos o explícitos que definan un contexto; éste puede ser histórico, cotidiano, científico, fantástico, etc.,... siendo fundamental que el alumno pueda identificar el motivo y el interlocutor de la pregunta.

Si el alumnado no identifica el contexto de la pregunta, sitúa la tarea en el contexto de aula, de modo que implícitamente piensa, que el interlocutor es el profesor y la finalidad es la evaluación. Este presupuesto hace que su principal objetivo sea satisfacer al profesor, reproduciendo el libro de texto o lo que se ha dicho en clase. Y además al considerar que el profesor ya sabe la respuesta no se esfuerza en explicarlo mejor.

Un contexto bien definido puede servir de motivación para que el alumno tenga la necesidad de pensar que quiere comunicar y de qué modo es mejor hacerlo. Por ejemplo, después de una visita a una planta de pinturas pueden formularse dos preguntas: *¿Qué se requiere para la fabricación de una pintura?* La respuesta que se obtiene en este caso es sensiblemente distinta a la que se obtienen si se pide: *Escribe las observaciones que hiciste sobre cómo fabricar pinturas al visitar la fábrica X.*

La necesidad de dar indicios sobre la teoría o conceptos implicados. En segundo lugar, una pregunta debe dar indicios del modelo, teoría y nivel al que se pide la respuesta. Ya que

muchas de las preguntas que se utilizan en pruebas de evaluación o en los libros de texto pueden tener diferentes niveles de respuesta tal como vamos a ver a continuación. La pregunta es: *Escribe el procedimiento para la obtención de cloro*

Las respuestas pueden ser muy variadas y no necesariamente incorrectas. Si se quiere que el alumnado relacione y utilice en su respuesta los aprendizajes que se trabajan en clase, es conveniente que la pregunta o actividad que se plantea sitúe el marco teórico de referencia.

Una reformulación del ejemplo anterior podría ser: *Se requiere obtener cloro en grandes cantidades y de alto grado de pureza. ¿Qué procedimiento sería adecuado?*

Demanda clara. Y en tercer lugar, la pregunta debe estar planteada de manera coherente con lo que se quiere preguntar, es decir hacer una demanda clara y consensuada. Es importante que el alumnado sepa qué esperamos de él cuando le pedimos que describa, que explique, que justifique, que argumente.... Para ello será necesario negociar los significados de estas demandas desde la clase de ciencias.

Por ejemplo, ante la pregunta *¿Qué es un eutéctico?* *¿Qué tipo de comportamiento presenta?* El alumno puede responder con una definición, una descripción, una explicación o con un ejemplo. *¿Qué es lo que como profesores esperamos?*

Objetivos

- Elaborar preguntas para exámenes diagnóstico a fin de conocer los conceptos apropiados significativamente – no solamente memorizados- por los estudiantes de nuevo ingreso a Química General, sobre el tema Estructura de la materia.
- Identificar concepciones alternativas que obstaculizan la comprensión de los conceptos que se pretende enseñar.
- Inferir algunas de las causas que originan esas concepciones alternativas.

Metodología

Muestra

Se contó con la colaboración de alumnos de la Facultad de Estudios Superiores -Cuautitlán de las carreras de Químico Farmacéutico Biólogo, Químico, Químico Industrial e Ingeniero en Alimentos, 9 grupos en total con 40-60 alumnos cada uno y que cursan el primer año de la carrera.

Instrumentos

El examen diagnóstico se enfocó en conocer cómo interpretaban los conceptos y teorías que habían estudiado (cómo las pensaban, es decir cómo “se las representaban”) y también cómo aplicaban los conceptos e indicaciones que se les habían dado para describir la configuración electrónica.

Las preguntas formaron parte de los cuestionarios de diagnóstico al principio del curso y de los exámenes parciales del primer semestre de la carrera.

En este artículo no se presentan todas las preguntas que aplicamos, únicamente las referentes a la estructura atómica.

I. Preguntas sobre Descripción

Pregunta I. *Si dispusiera de un microscopio suficientemente potente ¿Cómo vería un átomo de bromo? Dibújelo (Gómez Moliné, 2000).*

Con esta pregunta se pretende poner en evidencia los conocimientos retenidos por el alumno, provenientes las explicaciones del profesor y de los textos sobre la evolución de los distintos modelos para explicar el comportamiento de los átomos.

Se espera que el dibujo –lenguaje visual– imponga menos restricciones a la comunicación de ideas por parte del alumno, como explican (Estanya y Márquez, 2003). En algunos casos, un dibujo puede aclarar el significado que para el alumno tiene una determinada expresión empleada en un texto científico.

Pregunta II. *¿Cuáles son los elementos y los iones que poseen únicamente 18 electrones? (Whitten, 1992).*

En este caso se pretende conocer cómo interpreta el alumno las valencias o grados de oxidación, formación de cationes y aniones a partir de la pérdida o ganancia de electrones, basándose en los datos de la tabla periódica

2. Preguntas sobre Causa /efecto

Pregunta III. *La tabla periódica de los elementos contiene también información sobre ellos, así el número atómico $Z = 29$ corresponde al cobre que tiene una masa molecular de 63.55. ¿Cuál es la masa de un átomo de cobre? (Gómez Moliné, 2000).*

Pregunta IV. *Suponga que los átomos de cobre son esféricos y que tiene un volumen de 11.81 amstrongs cúbicos ¿Cuál sería el radio de un átomo de cobre? Si un millón de átomos de cobre se situaran uno detrás del otro ¿Qué longitud tendría esa cadena atómica? (Cruz, Chamizo, Garritz, 1986)*

Estos dos problemas intentan activar los conocimientos de los alumnos respecto al concepto de mol, a la geometría y al planteamiento algebraico de ecuaciones.

Pregunta V. *Cuál de los cuatro números cuánticos (n, l, m_l y m_s) determina*

- La energía del electrón en el átomo de hidrógeno.
 - El tamaño del orbital
 - La forma del orbital
 - La orientación en el espacio del orbital
- (Garritz, Gasque y Martínez, 2005)

Se pretende conocer si los alumnos han logrado un aprendizaje significativo de los números cuánticos.

Pregunta VI. *¿Cuáles son los valores de n, l, m y s para el último electrón de un átomo de kriptón? (Gómez Moliné, 2000)*

Con esta pregunta se intenta saber si los alumnos son capaces de aplicar a un caso concreto las indicaciones, que tanto los profesores como los textos, proporcionan para identificar cada uno de los electrones.

3. Preguntas sobre Generalización o enunciado de una teoría

Pregunta VII. *¿Cómo se explica que el yodo y el telurio no estén colocados en la tabla periódica de acuerdo a sus masas atómicas ascendentes? (común en muchos exámenes)*

Se desea saber si las bases de la clasificación periódica y del número Z han sido comprendidas.

Resultados obtenidos y análisis

I.- Preguntas sobre descripción

Pregunta I. *Si dispusiera de un microscopio suficientemente potente ¿Cómo vería un átomo de bromo? Dibújelo*

Las respuestas obtenidas clasificadas mediante redes sistémicas se presentan en la Tabla I

Pregunta	Representación del átomo	%
¿Cómo se vería un átomo de bromo?	Planetaria	41.81
	Modelo de Thomson	18.18
	Difuso, deslocalización de los electrones	32.72
	Otros	0.0
	No contestó	7.29

Tabla I

La representación de un sistema planetario es el que predomina con un 41.81%, seguida por la deslocalización de los electrones, 32.72% y el modelo de Thomson es el elegido por un 18.18% de alumnos. El resto 7.29% no contestaron la pregunta.

Era de esperar que siendo el modelo planetario de Bohr el que ha sido más difundido y se representa como símbolo de la energía atómica, sea el más arraigado entre los estudiantes, también el modelo de Thomson que se ha comparado con un “buding de pasas” y tiene connotaciones infantiles, ha sido retenido.

Afortunadamente un tercio de los estudiantes están conscientes de los movimientos de los electrones y de su difícil localización en un momento dado.

La evolución de los modelos atómicos es uno de los pocos casos en que se plantea un desarrollo de modelos para mostrar al alumno las dificultades de los investigadores, la superación de los modelos que no han resistido las pruebas y el estado actual de la investigación. No todos los alumnos lo interpretan de este modo y se les quedan grabadas las etapas anteriores, puede ser debido a la enseñanza que han recibido o a la dificultad de comprender los planteamientos de la mecánica cuántica, tan alejados del comportamiento macroscópico observado en la vida cotidiana.

Sin conocimientos sólidos de matemáticas, sin conocimientos de espectroscopía –una forma de “mirar” alguna propiedad de la materia - y sin haber entrado en el mundo de las ideas de la mecánica cuántica ¿Puede el alumno deducir, comprender, razonar, sobre la configuración electrónica de los elementos? En la mayoría de los casos ¿no es algo que se acepta ciegamente, se memoriza y se utiliza sin entender su significado?

Esto supone distintos niveles de pensamiento formal o de interés en el tema y plantea la pregunta ¿A que edad (o nivel) debe de enseñarse estructura atómica?

Si consultamos los libros de texto actuales de Química General de Educación Media Superior y Universitaria, la mayoría – Whitten (1992, Garritz (2005), Kotz (2003), Spencer (2000), Russell (1985), entre otros muchos- colocan este tema entre los capítulos 6 y 12. Sin embargo en los libros de nivel más alto – Huheey (1997), Manku (1983)- forma parte de los primeros capítulos.

Esto indica que hay que comenzar por presentar a los alumnos la materia, sus estados etc., antes de abordar el tema de estructura atómica. Lo que queda por definir es el contenido y el nivel adecuados para impartirlo en Educación Media Superior, dado lo poco que la mayoría de los estudiantes recuerdan cuando llegan a la universidad.

Pregunta II. ¿Cuáles son los elementos y los iones que poseen únicamente 18 electrones?

El promedio de alumnos que contestaron acertadamente esta pregunta fue de 6.8 %, los demás no la contestaron.

Posiblemente los alumnos están tan imbuidos en el aprendizaje del número de protones y electrones característicos de cada elemento y no alcanzan a relacionarlos con la capacidad de perder o ganar electrones, los grados de oxidación o los iones que son capaces de formar.

Es como si la mayoría de los alumnos, en ese nivel, aprendieran en un capítulo la configuración electrónica y en otro totalmente aparte, la formación de moléculas en las que intervienen los electrones, sin poder relacionar ambos capítulos entre si.

Hay que considerar cómo la Historia de la Química muestra que gracias al estudio de las propiedades de los compuestos, muchos elementos pudieron ser clasificados en la tabla periódica e incluso se predijo la existencia de otros nuevos, pero cuando se trata de la enseñanza se presenta primero la configuración electrónica de los elementos y de ella se espera que el alumno pueda recorrer el camino inverso, es decir, con sólo conocer la configuración electrónica y su posición en la tabla periódica, si pueden predecir propiedades de los elementos pero difícilmente podrá deducir propiedades de los compuestos de este elemento. Se enfatiza el estudio de los elementos y pocas veces se relacionan esos elementos con sus compuestos más importantes y cotidianos que podrían ayudar al estudiante a encontrarlos más cercanos e interesantes. Por ejemplo, el silicio con la arena, los cuarzos o los vidrios.

Causa / efecto

Pregunta III. La tabla periódica de los elementos contiene también información sobre ellos, así el número atómico $Z = 29$ corresponde al cobre que tiene una masa molecular de 63.55. ¿Cuál es la masa de un átomo de cobre?

Respuestas obtenidas en la Tabla 2

Pregunta	Respuestas	%
¿Cuál es la masa de un átomo de cobre?	Muy pequeña	14.54
	Confusión con masa atómica	36.36
	Valores arbitrarios, al azar, no justificados	41.81
	No contestó	7.27

Tabla 2

El 14.54% explica solamente que es un número muy pequeño, no lo calcula porque no lo relaciona con el número de Avogadro, (que se estudia en otro capítulo) pero tiene clara la relación con su masa atómica expresada en gramos/mol.

El mayor porcentaje, 36.36% responde que la masa de un átomo es 63.55 g. Es la confusión entre masa de un átomo y masa atómica en g/mol, lo cual implica también una confusión con el mol como cantidad de materia o como número de Avogadro. El 41.83 % contesta cualquier cosa, sin cálculos o con cálculos que no se justifican. Sólo un 7.29 % no respondió la pregunta.

En el enunciado del problema aparece la expresión “masa molecular”, tratando de llamar la atención del alumno acerca que 63.55 se refiere a los gramos que pesa un mol. Sin embargo, a este valor, diversos autores y distintos profesores le han dado varios nombres como peso atómico, masa atómica o g/mol, lo cual puede haber originado la confusión o una concepción alternativa.

La mayoría de los alumnos (92.73%) contestan la pregunta, posiblemente debido a que los términos les son familiares y porque han sido muy repetidos en las clases se sientan obligados a contestar, aunque algunos no estén concientes de lo que contestan. Esto puede indicar que estos estudiantes no han desarrollado la capacidad de “saber qué es lo que saben” (metacognición), lo cual está ligado con su poca habilidad para estudiar y aprender significativamente.

Pregunta IV.- *Suponga que los átomos de cobre son esféricos y que tienen un volumen de 11.81 amstrongs cúbicos ¿Cuál sería el radio de un átomo de cobre?*

Si un millón de átomos de cobre se situaran uno detrás del otro ¿Qué longitud tendría esa cadena atómica?

Sólo el 1.5 % de los encuestados contestaron la pregunta aunque con dificultades en el manejo de cantidades muy pequeñas

Esta pregunta y la anterior se han estado haciendo también a los alumnos de Química General II, segundo semestre, carrera de Química Industrial, como ejercicio en clase

Se ha observado que los alumnos, primero muestran una desorientación total, tienen que activar su memoria para encontrar conceptos y fórmulas geométricas, después, algunos empiezan a pensar en voz alta y a consultar con sus compañeros, preguntan sobre la fórmula que relaciona el volumen de la esfera con el radio, porque no se sienten seguros de su memoria.

Son muchos los que no recuerdan el cálculo del volumen en función del radio, también se nota que no están familiarizados con el planteamiento de problemas relacionados con átomos y con cantidades de orden microscópico, amstrongs, las cuales no pueden imaginar y se confunden con facilidad al cambiar de unidades.

Pregunta V. *Cuál de los cuatro números cuánticos (n , l , m_l y m_s) determina*

- a. La energía del electrón en el átomo de hidrógeno.
- b. El tamaño del orbital

- c. La forma del orbital
- d. La orientación en el espacio del orbital

Sólo un 4.5 % pudo contestarlo

Estas preguntas también se formularon en un examen parcial, después de que el profesor había terminado de explicar configuración electrónica y se habían hecho bastantes ejercicios, lo cual muestra que el aprendizaje fue memorístico y no significativo. Como se observó en las respuestas a la primera pregunta, la configuración electrónica es abstracta y el alumno que ingresa al primer semestre no tiene parámetros para relacionarla con conceptos que le resulten concretos o familiares.

VI. *¿Cuáles son los valores de n , l , m y s para el último electrón de un átomo de kriptón?* Esta pregunta también se consideró en el diagnóstico de Química General II de QI.

Ningún alumno fue capaz de contestarla.

Se les preguntó las razones por las que no podían aplicar las reglas dadas por el profesor y por los libros de texto, tanto en el Nivel Medio Superior como en Química General I y explicaron que apenas las recordaban, habían estudiado para pasar el examen y las habían olvidado.

Es un ejemplo de aprendizaje memorístico que es olvidado con facilidad por la falta de interés que muestra el alumno y una confirmación de los resultados de las pregunta I y V

2. Generalización o enunciado de una teoría

VII. *¿Cómo se explica que el yodo y el telurio no estén colocados en la tabla periódica de acuerdo a sus masas atómicas ascendentes?*

Aproximadamente la mitad de los alumnos expresaron que recordaban haber oído una explicación al respecto de esa irregularidad, otros que la determinación de masas atómicas podía estar falseada, no aceptaron que la tabla periódica que creían infalible, tuviera excepciones. Es extraño que no recuerden que actualmente el criterio que se sigue para su arreglo es el número atómico de los elementos

Conclusiones

Las preguntas formuladas proporcionaron los siguientes conclusiones, de acuerdo a los objetivos fijados:

1. Elaborar preguntas que permitan diferenciar entre conceptos apropiados significativamente o memorizados sobre el tema Estructura de la Materia

- Las respuestas muestran que la pregunta 1 fue contestada por la mayoría de los alumnos recurriendo a modelos sencillos ya superados, porque no retuvieron o comprendieron el modelo cuántico.
- Las respuestas a las preguntas 2, 3 y 4 muestran las dificultades que tienen la mayoría de alumnos en relacionar e integrar conceptos correspondientes a distintos temas para responder a una pregunta como número de electrones de un átomo y de un ión; masa molecular y número de Avogadro o radio atómico y volumen de una esfera.
- Las respuestas a las preguntas 5 y 6 muestran que sólo unos pocos alumnos pudieron recordar el significado de los números cuánticos y no pudieron seguir las recomendaciones para atribuir los números cuánticos correspondientes a un electrón determinado.
- Parece ser que las clases que fueron impartidas a estos alumnos, fueron clases de “gis y pizarrón” y no fueron suficientes para permitir, a la mayoría, asimilar algo tan abstracto como la configuración electrónica.

2. Identificar concepciones alternativas

- En el caso de concepciones alternativas sobre estructura atómica es difícil pensar en ideas previas o ingenuas, son concepciones que se forman por el tipo de enseñanza, que no son evaluadas y corregidas a tiempo. Son enseñanzas que no logran captar la imaginación de los estudiantes para que pudieran formarse sus propias preguntas y representaciones, y los estudiantes repiten a su manera lo que han podido memorizar.

3. Inferir causas que originaron las concepciones alternativas

- Las respuestas a la pregunta 3 corresponden en buena parte a la confusión debida al lenguaje empleado por algunos profesores y también por algunos libros, que usan indistintamente peso o masa molecular y peso o masa atómicas.

De las respuestas a las preguntas planteadas se puede detectar que un número considerable de alumnos, al entrar en una licenciatura de Química presentan:

- Un conocimiento memorístico del tema estructura atómica, que les impide emplearlo para contestar preguntas concretas.
- Dificultades para relacionar el enunciado con los conocimientos adquiridos en distintas áreas y para plantear las operaciones correspondientes.

- Escaso desarrollo metacognitivo, que implica estar conscientes de lo que saben y cómo lo aprendieron.
- Falta de habilidad para el cálculo de cantidades muy pequeñas.

Algunas sugerencias

- Si aceptamos el modelo constructivista, hay que colocar primero las bases para construir el edificio. Estas bases tienen que ser significativas para el estudiante, sólidas y firmes para que lo que se construya sea un aprendizaje a largo plazo.
- Hay que mostrar las evidencias que han permitido llegar a esa configuración electrónica. Se puede empezar por radiaciones electromagnéticas, pero se requiere de un laboratorio donde el alumno viva los fenómenos producidos por los rayos catódicos, la relación entre la espectroscopia y la configuración electrónica.
- El enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad puede aportar los elementos necesarios para que la estructura atómica pueda relacionarse con celdas fotoeléctricas, espectroscopia UV, IR, absorción atómica, etc.
- Un enfoque histórico breve puede mostrar al alumno la necesidad de un cambio en la teoría para explicar hechos que no se habían detectado antes.

Referencias

- ASTOLFI, J. P. (1999). *El “error” como medio para pensar*. Sevilla: Diada
- CAMPANARIO, J. M. y Otero, J.C. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 155-169.
- CRUZ, D., Chamizo, J.A. y Garritz, A. (1986). *Estructura atómica: Un enfoque químico*. México: Fondo Educativo Interamericano.
- DUSCHL, R.A. (1995). Más allá del conocimiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 3-14.
- ESTANYA, J.L. y Márquez, C. (2003). Dibujar: Ampliar el camp comunicatiu. En: N. Sanmarti Comps.). *Aprende Ciències, tot aprenent a escriure ciència* (pp.189-209). Barcelona: Edicions 62
- GABEL, D. (1998) The Complexity of Chemistry and Implications for Teaching. En: B.J Frazer, y K.G Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education*. Kluwer. Acad. Pub.
- GARRITZ, A. y Chamizo, J.A. (1998). *Química* (1ª reimp.). México: Addison Wesley

- GARRITZ, A., Gasque, L. y Martínez, A. (2005). *Química Universitaria*. México: Prentice Hall
- GÓMEZ MOLINÉ, M.R. (2000) Análisis de algunos obstáculos en el Aprendizaje de la Química. *Tesis para la obtención del grado de Magister en la Universidad Autónoma de Barcelona*.
- HUHEEY, J. E., Keiter, E.A. y Keiter, R.L. (1997). *Química Inorgánica*. 4ª. ed. México: Oxford
- KIND, V. (2004). *Más allá de las apariencias*. México: Santillana
- KOTZ, J.C., Treichel, P.M. y Harman, P.A. (2003) *Química y reactividad química*. 5ª ed. México: Thomson
- MANKU, G.S. (1983) *Principios de Química Inorgánica*. México: McGraw Hill.
- MÁRQUEZ, C., Roca, M. y Via, A. (2003). Plantear bones preguntas. En: N. Sanmarti (Comp.) *Aprendre Ciències, tot aprenent a escriure ciència*, (29-58). Barcelona: Edicions 62.
- MÁRQUEZ C. (2006). Plantear preguntas: El punto de partida para mirar, ver y explicar con sentido. *1er. Encuentro Iberoamericano de Investigación sobre Enseñanza de las Ciencias y las Matemáticas*.
- PETERFALVI, B. (1997 a) Les obstacles et leur prise en compte didactique. *Aster*, 24, 3-11
- PETERFALVI, B. (1997 b) Enseignement et élèves face aux obstacles. *Aster*, 25, 3-8
- ROCA, M. (2005). Cuestionando las cuestiones. *Alambique*, 45, 9-17
- RUSSELL, J.B. (1985). *Química General*. México : McGraw Hill.
- SPENCER, J.N., Bodner, G.M. y Rickard, L.H. (2000). *Química: Estructura y Dinámica*. México: Grupo Patria Cultural.
- WHITTEN, K.W., Galley, K.D. & Davis, R.E. (1992) *Química General*. 2ª ed. en español. México: McGraw-Hill Interamericana de México

Saber pedagógico y conocimiento pedagógico del contenido: ‘la estructura corpuscular de la materia’

Andoni Garritz Ruiz

Introducción: Saber pedagógico

Convendría empezar por describir algunas definiciones de pedagogía: “La pedagogía estudia la educación tal como se presenta en la vida individual y social, como una parte de la realidad humana... y contesta a la pregunta: ¿qué es la educación?” [del insigne pedagogo manchego Lorenzo Luzuriaga (1889-1959)]. Para Francisco Giner de los Ríos (1839-1915), “la educación es una acción universal, difusa y continua de la sociedad (y aun del medio todo), dentro de la cual la acción del educador desempeña la función reflexiva, definida, discreta, propia del arte en los demás órdenes de la vida, de excitar la reacción personal de cada individuo y, aun de cada grupo social para su propia formación y cultivo; todo ello mediante el educando mismo y de lo que él de suyo pone para esta obra, ya lo ponga espontáneamente, ya en forma de una colaboración también intencional.”

Sin embargo, es conveniente establecer las diferencias entre educación y pedagogía. La educación es una práctica, una actividad social, una acción, mientras que la pedagogía es una reflexión, una teorización, un conocimiento o una toma de conciencia (Fullat, 1983).

La educación, dice Fullat (y Sarramona, 1984), es ‘cosa reciente’ en la historia del mundo, y surge por la necesidad de comunicar la vida civilizada cuando ya no es posible transmitir mediante la herencia genética las posibilidades de sobrevivir. Educar es manipular. La educación es una relación ternaria entre «lo manipulante», «lo manipulado» y «lo finalístico» o aquello para lo cual se manipula.

Ahora bien, cuando nos referimos a la pedagogía o a sus derivaciones (i.e. pedagogo, pedagógica, etc.) es común enfrentarse a un debate difuso, no sólo en su naturaleza, sino también en su génesis. La pedagogía ha sido un concepto que inclusive sirve de “comodín” para describir distintos ámbitos de acción y de pensamiento. Así, resulta común advertir dentro del campo semántico de la pedagogía términos como “ciencia de la educación”, “práctica educativa” o “arte de la educación”, además de significaciones asociadas con recursos, métodos, prácticas y relaciones con el discurso acerca de la enseñanza, del aprendizaje, de la didáctica y, en ocasiones, connotaciones relativas a la reflexión crítica, a la emancipación y a la liberación individual y social (Salazar, 2005). También se la ha denominado como “filosofía de la educación”; metodología usada en las acciones de educar

y de enseñar; ciencia explicativa de la práctica educativa, entre otros (Gallego, 1992). Todo un embrollo hablar de “pedagogía”, por lo tanto.

Si bien el análisis etimológico de la palabra pedagogía¹ aporta luces sobre su naturaleza y su proyección semántica, también se advierte ambigüedad en esta última, pues se ha dejado de interpretar esa “conducción” como algo físico y espacial, para representar más bien la orientación “hacia la humanidad”.

Tal y como se la conoce en la actualidad, la pedagogía tiene su base en el pensamiento moderno (siglos XVIII y XIX). Desde ese momento se origina una cruzada por establecer su carácter científico, cuestión que dista mucho de estar resuelta. Johann Friedrich Herbart (1776-1841) es considerado el precursor de la pedagogía científica y se dedica a la búsqueda del entramado de ideas que articule la científicidad del cuerpo pedagógico. La evolución semántica del concepto ha permitido plantear a ésta “como una ciencia cuyo objeto de estudio es la educación: la pedagogía es conocimiento, la educación es acción” (García y García, 1996).

Esta “ciencia de la pedagogía”, no se debe llamar como tal, según Popper, ya que está conformada por hipótesis provisionales que han resistido a la falsación. Adicionalmente su contenido (la educación) está disperso en muchos otros campos, como la sociología, la historia, la psicología, la economía, etc.

Sin embargo, veamos la undécima tesis sobre la lógica de las ciencias sociales del mismo Popper, que no propone necesariamente una credibilidad y objetividad mayor para el científico de la naturaleza que para el social:

“Es de todo punto erróneo conjeturar que la objetividad de la ciencia depende de la objetividad del científico. Y es de todo punto erróneo creer que el científico de la naturaleza es más objetivo que el científico social. El científico de la naturaleza es tan partidista como el resto de los hombres y, por regla general, es —si no pertenece al escaso número de los que constantemente producen ideas nuevas— en extremo unilateral y partidista en lo concerniente a sus propias ideas...” (Popper, 1973, p. 109)

La ‘cara positiva’ de la tesis anterior constituye el contenido de la duodécima tesis, que sienta la objetividad científica más en el método crítico y controvertido de la actividad, que en las características de los individuos que la cultivan:

“Lo que puede ser calificado de objetividad científica radica única y exclusivamente en la tradición crítica, esa tradición que a pesar de todas las resistencias permite a menudo criticar un dogma

dominante. Expresado de otra manera, la objetividad de la ciencia no es asunto individual de los diversos científicos, sino el asunto social de su crítica recíproca, de la amistosa—enemistosa división de trabajo de los científicos, de su trabajo en equipo y también de su trabajo por caminos diferentes e incluso opuestos entre sí. De ahí que dependa parcialmente de esta vasta serie de relaciones sociales y políticas que en cuanto a tal crítica la hacen posible.” (Popper, 1973, p. 109-110)

Hoy ya se discute menos acerca de si la pedagogía es una ciencia o no lo es. Yo no pienso tomar partido acerca de si lo es o no, lo que sí me interesa hacer énfasis es que en una universidad con un propósito fundamentalmente formativo es recomendable fomentar el debate, la argumentación, la teorización sobre la educación, en todas sus facetas, sea que ésta trate de aspectos específicos de contenidos disciplinarios o de la filosofía educativa global universitaria. Se trata ésta de una discusión sobre uno de los grandes propósitos de la Universidad, que no deberíamos dejar de dar, si bien no fuera a través de un análisis científico, si fuera fútil hacerlo, sí mediante un análisis filosófico que abarcara todas las múltiples facetas del terriblemente complejo hecho educativo.

Shulman y el conocimiento pedagógico del contenido

El que puede, hace. El que no puede, enseña.

George Bernard Shaw en el apéndice de *Man and Superman*

Aquellos que pueden, hacen. Aquellos que entienden, enseñan.

Lee S. Shulman (1986)

Estas dos referencias sirven para resaltar la contribución analítica de Lee S. Shulman a la acción de los docentes: del punto de vista de la práctica (Shaw) a la lógica explicativa de por qué ocurre de ese modo (Shulman).

En 1983 Shulman (1999) hizo públicas sus reflexiones acerca de lo que denominó “El paradigma perdido en la investigación sobre la enseñanza”. Especuló sobre dicho paradigma y propuso que era el pensamiento del profesor acerca de la materia de estudio y su interacción con la pedagogía llevada a cabo en el salón de clases, al cual denomina “conocimiento pedagógico del contenido” (CPC).

A este respecto se menciona que, hasta ese momento, “...se había tratado a los profesores de una manera muy genérica como pensadores...” (Garritz y Trinidad-Velasco, 2004). Por otro lado, las

investigaciones de la psicología cognitiva sobre el aprendizaje habían considerado exclusivamente la perspectiva de los aprendices (Martín del Pozo y Porlán, 1999). Es evidente que causara revuelo la aparición en escena de las interacciones entre el pensamiento docente y la organización de la presentación del campo de conocimientos que se enseña.

Shulman (1986) se planteó algunas preguntas de investigación como las siguientes:

- ¿Cómo el estudiante universitario exitoso que se convierte en profesor novato transforma su pericia en la materia en una forma que los estudiantes de bachillerato puedan comprender?
- ¿Cuáles son las fuentes de las analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones y reformulaciones que el profesor utiliza en el aula?

La respuesta a estas interrogantes claramente avanza en el sentido de indagar los aprendizajes implícitos de los profesores en relación con su tarea y las formas en que los hacen explícitos (Pozo y Gómez-Crespo, 1997), es decir, analizar la práctica docente desde la interacción entre el contenido temático del campo de conocimientos que se enseña y la pedagogía.

Shulman (1986) propone un sistema de categorías analíticas para rastrear los orígenes del conocimiento que se desarrolla en las mentes de los profesores y que guía su práctica. Estas categorías analíticas son de corte epistémico y propone que, para reconocer el perfil del pensamiento docente es necesario identificar tres tipos de conocimiento:

- a.** Conocimiento del contenido temático del campo de conocimientos, o conocimiento de la asignatura (CA). Se refiere a la cantidad y organización del conocimiento disciplinario *per se* en la mente del profesor;
- b.** Conocimiento curricular (CC). Está representado por el conjunto de programas y por la variedad de materiales para la instrucción a un nivel determinado;
- c.** Conocimiento pedagógico del contenido (CPC), el tema de la materia *para la enseñanza*.

En el CPC se incluye, para los tópicos más regularmente enseñados en el área del profesor, lo que lo habilita para responder a preguntas tales como: “¿Qué analogías, metáforas, ejemplos, símiles, demostraciones, simulaciones, manipulaciones, o similares, son las formas más efectivas para comunicar los entendimientos apropiados o las actitudes de este tópico a estudiantes con antecedentes particulares?” (Shulman y Sykes, 1986, p.9). De esta manera, en el CPC se incluyen, para

los tópicos más regularmente enseñados en el área temática del profesor todo el esfuerzo que hace para hacer comprensible su tema ante sus estudiantes. Los profesores necesitan el conocimiento de las estrategias más probables de ser fructíferas en la reorganización del entendimiento de los aprendices, cuestión que no requiere estrictamente el investigador experto en el tema.

El CPC también incorpora un entendimiento de lo que hace fácil o difícil el aprendizaje de tópicos específicos: “las concepciones y preconcepciones que los estudiantes de diferentes edades y antecedentes traen al aprendizaje de los tópicos y lecciones más frecuentemente enseñados”, cuestión que tampoco conoce el investigador experto (Shulman, 1986, p. 9).

Desde la aparición del término ha habido un sinnúmero de interpretaciones acerca de lo que significa el CPC. Hay quien lo mira como una mezcla de varios tipos de conocimientos necesarios para la enseñanza (Carlsen, 1999; De Jong y van der Valk, 2005), mientras que otros lo explican como la síntesis de todos los conocimientos requeridos para ser un profesor efectivo (Cochran, DeRuiter y King, 1993).

Muy pronto surgen críticas a la categorización de Shulman, la primera de McEwan y Bull (1991), quienes dudan del valor de la bifurcación del conocimiento de la asignatura y el pedagógico del contenido, pues dicen “¿Es el conocimiento de los profesores acerca de la asignatura de diferente tipo que el de los expertos?”, y llegan a la conclusión de que todo tipo de conocimiento es pedagógico, pues “el contenido de una asignatura es siempre una expresión de un deseo de comunicar ideas a otros, sea que suceda que sean miembros de la comunidad de expertos, nuevos en el campo o legos.” Este debate perdura hasta nuestros días (Segal, 2004), aunque yo sí alcanzo a ver claro que el conocimiento disciplinario es algo común para el investigador experto y para el buen profesor, no así el conocimiento pedagógico del contenido, el cual sólo posee el docente y no el experto.

Kagan (1990) encuentra diversas bases bajo las cuales la investigación sobre la cognición de los profesores resulta ser demasiado vaga o ambigua como para promover su utilización. Ésta es, en efecto, otra crítica declarada para el empleo del CPC, sobre todo como elemento para reconocer la buena y la no tan buena docencia. Kagan nos dice que sólo tiene sentido hablar de buena docencia cuando existe una “validez ecológica”, es decir, cuando dicha docencia se mide en términos de lo que afecta la vida en el salón de clase. Propone esta autora que el actuar de los profesores se mida más con el impacto sobre los estudiantes, en lugar de a través del comportamiento del profesor con una herramienta o en una tarea particular o en su conocimiento.

Cochran, DeRuiter y King (1993) intentan resolver la división artificial de conocimientos de Shulman al hablar de “Pedagogical Content Knowing”, en lugar de “Pedagogical Content Knowledge”, insistiendo en que lo importante es el conocer y entender del profesor como un

proceso activo acerca del aprendizaje de sus estudiantes y del contexto ambiental en el cual tiene lugar la enseñanza y el aprendizaje. Estos autores proponen cuatro componentes de ese “conocer pedagógico del contenido”: pedagogía, contenido de la asignatura, características estudiantiles y contexto ambiental del aprendizaje.

Menciona Geddis (1993) que un profesor sobresaliente no es considerado simplemente como “un profesor” sino más bien como “un profesor de historia” o “un profesor de química” o “un profesor de lengua”. Mientras que, en cierto sentido, existen habilidades genéricas para enseñar, muchas de las capacidades pedagógicas del profesor sobresaliente versan sobre contenidos específicos, es decir, forman parte del CPC.

Carlsen (1999) describe lo que concibe como CPC y lo que lo diferencia del CA y del CPG. El CPC, según él está constituido por cinco elementos:

- El conocimiento de las concepciones alternativas de los aprendices;
- El currículo científico específico;
- Los mejores métodos instruccionales para abordar el tema;
- Los propósitos de la enseñanza de ese tema, en particular;
- La planeación y administración de la evaluación.

Barnett y Hodson (2001) plantean un nuevo término: “Conocimiento Pedagógico del Contexto” en el camino para entender qué saben los buenos profesores, y qué los diferencia de los que no son tan buenos. Incluyen en él cuatro tipos de conocimiento, siendo uno de ellos el CPC:

1. Conocimiento académico y de investigación
2. Conocimiento Pedagógico del Contenido
3. Conocimiento Profesional
4. Conocimiento del salón de clases

Talanquer (2004) dice que hasta la aparición del concepto de CPC se ha dado bandazos en el proceso formativo de profesores. Insiste en que transformar el conocimiento disciplinario en formas que resulten significativas para los estudiantes requiere que el docente posea el CPC para alcanzar los seis puntos del cuadro 1.

Los dos últimos trabajos (Barnett y Hodson, 2001; Talanquer, 2004) se refieren desde su título a la calidad de la docencia y mencionan que el CPC de un profesor experimentado es mayor

1. Identifique las ideas, conceptos y preguntas centrales asociados con un tema.
2. Reconozca las probables dificultades conceptuales de sus alumnos.
3. Identifique preguntas, problemas o actividades que obliguen al estudiante a reconocer y cuestionar sus ideas previas.
4. Seleccione experimentos, problemas o proyectos que permitan que los estudiantes exploren conceptos centrales.
5. Construya explicaciones, analogías o metáforas que faciliten la comprensión de conceptos abstractos.
6. Diseñe actividades de evaluación que permitan la aplicación de lo aprendido en la resolución de problemas en contextos realistas y variados.

Cuadro 1. Factores en los que Talanquer propone que se exprese el CPC de los buenos maestros. Sin duda estos seis puntos podrían emplearse para definir el CPC.

y mejor que el de un novato. Esto de evaluar la buena docencia en función del CPC implica un reto para documentar esta construcción y así poder emplearlo cotidianamente en una evaluación que ha sido tan problemática hasta nuestros días. Hoy resulta común encontrar en los artículos sobre CPC una gradación del mismo en una escala numérica (Bond-Robinson, 2005; Mathijsen *et al.*, 2006). El término ha sido mencionado también en un trabajo que revela las doce guías genéricas de la buena enseñanza (Brophy, 2001) y forma parte sustancial del apartado de “pedagogía académica” en el manual de educadores de profesores (Carter y Anders, 1996). Por esta razón, es un concepto que tiende a aparecer cada vez más en el proceso de formación de profesores (Tamir, 1988; De Jong, Korthagen y Wubbels, 1998; van Driel, Verloop y de Vos, 1998; van Driel *et al.*, 2002; Talanquer *et al.*, 2003, Psillos, *et al.*, 2005) o en las reformas curriculares más recientes (Parchmann *et al.*, 2006) y, sin duda, va a desembocar en la evaluación del profesorado, como ya se apuntó en los “National Science Education Standards” de los Estados Unidos (NRC, 1996).

¿Cómo documentar el CPC de los profesores?

Es claro que reconocer y articular el CPC de un profesor es un proceso complejo y difícil. Hay muchas razones para ello, entre otras que el CPC (Baxter y Lederman, 1999; Loughran *et al.*, 2001a; Garritz *et al.*, 2007):

- No está asociado con la impartición de una determinada lección. Las actividades de la buena docencia pueden contribuir al CPC, pero por lo general no son ejemplos explícitos por sí

mismos. Se trata de una noción compleja que es reconocible sólo sobre un periodo largo de tiempo, ya que en muchas ocasiones el profesor no utiliza toda su “batería” con un grupo dado de estudiantes.

- Es mantenido y conservado inconscientemente por el profesor. Se trata parcialmente de una construcción interna que es tácita y, por lo tanto, difícil de reconocer y de expresar.

Recientemente, Loughran, Mulhall y Berry (2004) nos presentan dos herramientas para documentar y “retratar”, dicen, el CPC de los profesores:

- CoRe (“Content Representation”)
- PaP-eRs (“Professional and Pedagogical experience Repertoires”)

Para obtener la Representación del Contenido (ReCo) empiezan por extraer del profesor las ideas o conceptos centrales de su exposición del tema, y para cada idea central se le preguntan las ocho cuestiones del cuadro 2.

De esta manera, la ReCo es una matriz en cuyas columnas aparecen las ideas centrales para impartir el tema que han sido declaradas por el profesor y en las filas cada una de estas ocho preguntas. Toma un buen tiempo a los profesores entrevistados llenar esta matriz y, si existe la confianza para responder, se logran documentar las ideas centrales; los objetivos de la enseñanza declarados por el profesor; el conocimiento de las concepciones alternativas de los alumnos y sus dificultades de aprendizaje; la secuenciación apropiada de los tópicos; el empleo correcto de analogías y ejemplos; formas de abordar el entramado de ideas centrales; los experimentos, problemas y proyectos que el profesor emplea durante su clase; formas ingeniosas de evaluar el entendimiento, entre otras.

Como un ejemplo de la matriz de la ReCo, a continuación hemos colocado las cinco ideas centrales sobre las que se pusieron de acuerdo para llenar el cuestionario tres investigadores en biotecnología y tres profesoras de Biología y Química del Colegio de Ciencias y Humanidades. Estas cinco ideas centrales son la opinión de estos universitarios acerca de los contenidos científicos más importantes para dar el tema de la biotecnología en un curso del bachillerato:

1. Panorama histórico de la biotecnología (básicamente fermentaciones) y su importancia
2. Estructura del ADN. El material genético básico de los organismos es el mismo para todos.
3. ¿Qué es la ingeniería genética? Del ADN a las proteínas recombinantes.

- A. ¿Qué intentas que los estudiantes aprendan alrededor de esta idea?
- B. ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender esta idea?
- C. ¿Qué más sabes sobre esta idea?
- D. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de esta idea?
- E. ¿Qué conocimiento del pensamiento de los estudiantes influye en tu enseñanza de esta idea?
- F. ¿Cuáles otros factores influyen en la enseñanza de esta idea?
- G. ¿Qué procedimientos empleas para que los alumnos se comprometan con la idea?
- H. ¿Qué maneras específicas utilizas para evaluar el entendimiento de los alumnos sobre la idea?

Cuadro 2. Cuestionario para obtener la ReCo.

4. Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. Organismos genéticamente modificados.
5. Ética y consecuencias (¿Hacia dónde nos conduce la manipulación genética?)

Los Repertorios de Experiencia Profesional y Pedagógica (PaP-eRs o Re-PyPs, en español), por su parte, son explicaciones narrativas del CPC de un profesor para una pieza particular de contenido científico. Los Re-PyPs son ampliaciones de alguno o algunos espacios de la matriz de la ReCo que muestran la acción en el salón de clases llevada a cabo por el(la) profesor(a) en cuestión y están basados en observaciones *in situ* y comentarios hechos por él o ella durante las entrevistas en las cuales se desarrolla la ReCo (Loughran *et al.*, 2001b).

En la página siguiente está la representación de la ReCo de la biotecnología como una matriz en la que sus filas son las preguntas de Loughran, Mulhall y Berry (2004) del cuadro 2 y las columnas están encabezadas por las cinco ideas centrales consensuadas entre los seis profesores e investigadores. Como resultará lógico suponer, el llenado de los cuarenta espacios de la matriz de la ReCo no resulta simple, sino que requiere de un esfuerzo mental de importancia. Eso sí, con toda seguridad a un profesor con muchos años de experiencia en impartir el tema se le ocurrirán muchas más cuestiones con las cuales llenar los huecos, pero a los profesores novatos apenas les surgirán unas pocas ideas. De esta manera, la ReCo de un profesor experimentado será mucho más extensa, rica y profunda que la de un profesor en formación.

Por supuesto, podrán existir dos o tres ReCos de profesores con amplia experiencia que sean cada una diferente de la otra, sea por los diversos énfasis en estrategias de enseñanza y evaluación;

Ideas / Conceptos básicos	Panorama histórico de la biotecnología y de su importancia.	Estructura del ADN. El material genético de los organismos es el mismo para todos.	¿Qué es la ingeniería genética? Del ADN a las proteínas re-combinantes.	Aplicaciones biotecnológicas hacia la producción de fármacos y de alimentos. OGM	Ética y consecuencias ¿Dónde conduce la manipulación genética?
A. ¿Qué intentas que los estudiantes aprendan alrededor de la idea?					
B. ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender esta idea?					
C. ¿Qué más sabes sobre esta idea?					
D. Dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de la idea.					
E. Conocimiento acerca del pensamiento de los estudiantes que influye en tu enseñanza de la idea.					
F. Otros factores que influyen en la enseñanza.					
G. ¿Qué procedimientos empleas para que los alumnos se comprometan con la idea?					
H. ¿Qué maneras específicas utilizas para evaluar el entendimiento o confusión de los alumnos sobre la idea?					

o por los diferentes objetivos señalados por cada profesor; o por el conocimiento de muy diversas limitaciones del aprendizaje estudiantil presentes en cada uno (Loughran, Berry y Mulhall, 2006). No obstante, debe haber manera de identificar una calidad equivalente de esos profesores, muy diferentes de la de un profesor novato. Por tanto, ésta puede ser la forma mencionada de evaluar la docencia y la manera de documentarla, algo que ha permanecido oculto todavía en nuestra Universidad y en muchas otras.

Ejemplo de CPC, el de la naturaleza corpuscular de la materia

El modelo cinético corpuscular de la materia es uno que ha dado explicaciones claras acerca de las propiedades de la misma, desde su presentación por James Clerk Maxwell y Ludwig Boltzmann en la segunda mitad del siglo XIX.

Fue muy criticado por Ernst Mach para quien la meta de la ciencia era proveer relaciones lógicas y racionales entre los hechos y fenómenos que podían ser observados directamente. La teoría cinética, replicaba Mach, “sugiere reemplazar las leyes aceptables y simples de la termodinámica con nuevas y misteriosas explicaciones basadas en suposiciones improbables acerca de la existencia y propiedades de los átomos.”

Si hubo esa reticencia en el sector científico, es imaginable la existente en las mentes de los alumnos desde ese entonces. Los profesores, desde la enseñanza secundaria, deben enfrentar las concepciones previas de sus alumnos en relación con la estructura de la materia. Hay desde aquellos que consideran que la materia es un ente continuo (que parece, en cierto sentido, como crema de cacahuate); pasando por los que sí aceptan la existencia de corpúsculos, aunque atribuyen a estos el comportamiento de la materia en bulto (los átomos del azufre son amarillos, los de los metales son dúctiles y conducen la electricidad, los del neón son fluorescentes y los de hidrógeno inflamables); hasta los que han asimilado de alguna manera su naturaleza corpuscular más acorde con la visión científica vigente. Por esa razón, los profesores de ciencia de la secundaria y el bachillerato han de contar con un CPC muy especial sobre este tema, porque deben vencer esas “concepciones alternativas” para complementarlas en la concepción científica, proceso que se conoce en la jerga educativa como “el cambio conceptual” (Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982).

Nussbaum concluye con algo que debe formar parte del CPC de todos los profesores, que “los aspectos de la teoría de partículas más difícilmente asimilables por los alumnos son los más disonantes con sus concepciones antecedentes de la naturaleza de la materia”. Estos cuatro

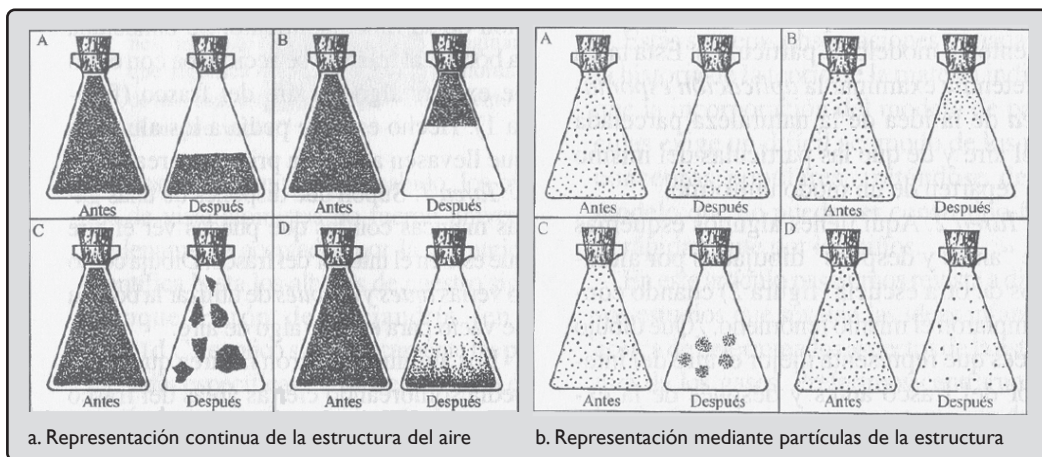


Figura 1. Algunas de las representaciones del gas antes y después de la extracción parcial de gas.

aspectos son: la existencia de corpúsculos (naturaleza corpuscular); el espacio vacío entre ellos (el concepto de vacío), el movimiento intrínseco (cinética de partículas) y la interacción entre partículas (transformación química).”

Joseph Nussbaum (1985) recopila sus hallazgos de diez años de investigación sobre adolescentes israelitas, en los que identifica en ellos la concepción continua y discreta de la materia en la fase gaseosa, al preguntar a los alumnos cómo se vería el gas remanente en un matraz después de haber extraído parcialmente el gas que contenía (ver la figura 1). Encuentra también la dificultad de concebir la estructura corpuscular de la materia y, ya adquirida ésta, la poca frecuencia de identificar el vacío entre las partículas del gas [ver en la figura 2 la pregunta que años después haría Llorens (1988) a estudiantes españoles, con sus respuestas correspondientes].

Estos cuatro aspectos son, según las opiniones de investigadores educativos actuales, las fuentes de mayores problemas de aprendizaje, por lo cual se han ideado múltiples formas de enfocar la enseñanza del tópico con elementos estratégicos para abordar estas dificultades, las cuales constituyen el CPC de los buenos profesores de hoy, incluido el uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), gracias a las cuales podemos enseñar mucho más fácilmente que la naturaleza de la materia se explica mejor con la existencia de corpúsculos, que se mueven constantemente, que tienen entre ellos el vacío más absoluto y que se combinan unos con otros en interacciones de tipo químico (ver las figuras 3 y 4).

Para ver de qué forma nuestros profesores enfrentan la enseñanza de la estructura corpuscular de la materia, nos dedicamos a documentar por la técnica de Loughran, Mulhal y

Probablemente habrás oído hablar de que la materia está formada por pequeñas partículas tales como los átomos y las moléculas. Si representamos el aire contenido en una vasija así:

¿Qué crees que existe en los espacios huecos que hay entre las partículas?

A. Más aire	22.6%
B. Otros gases	34.8%
C. Nada	22.1%
D. Una sustancia muy ligera que lo rellena todo	13.4%
E. No lo sé	6.4%

Figura 2. Item 3 de Llorens (1988).

Berry (2004) el CPC de dieciséis profesores distinguidos del bachillerato mexicanos y argentinos (Garritz y Trinidad, 2006). Los profesores están adscritos a tres instituciones: Bachillerato de la UNAM (3 profesoras del CCH y 2 de la ENP), 5 profesores del Instituto de Enseñanza Media Superior del Distrito Federal y 6 profesoras del nivel polimodal de Buenos Aires, Argentina.

Nos encontramos con un CoRe de consenso de los 16 profesores en el que los cuatro aspectos citados por Nussbaum eran mencionados como ideas centrales en la enseñanza del tema (ver los puntos I a IV del cuadro 3). El punto V de este cuadro habla de la trascendencia que dan los profesores a aplicar el conocimiento del modelo cinético a la interpretación de las propiedades de la materia, el VI a la importancia del principio de conservación, al menos en la química, y el VII a

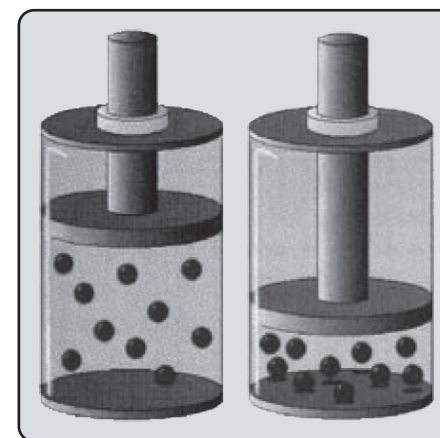


Figura 3. La ley de Boyle (a menor volumen en un gas, mayor presión) ejemplificada gracias al modelo cinético corpuscular.

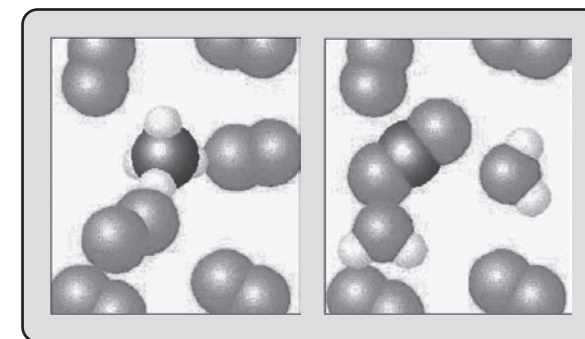


Figura 4. Reacción entre la molécula de metano, CH_4 , (con un carbono negro y cuatro hidrógenos blancos, a la izquierda) y dos de oxígeno, O_2 (moléculas dinucleares rojas). Notar que los productos de la reacción son una molécula de dióxido de carbono, CO_2 , y dos de agua, H_2O .

- I. La materia está conformada por pequeñas partículas
- II. El espacio entre las partículas está vacío.
- III. Las partículas están en movimiento aleatorio y su velocidad cambia con la temperatura.
- IV. Las partículas interactúan unas con otras por medio de enlaces de naturaleza electrostática.
- V. Existe relación entre la estructura de la materia y sus propiedades físicas y químicas
- VI. Existe conservación de la materia en los procesos donde participa. Las partículas no desaparecen ni se crean, sólo cambian sus ordenamientos.
- VII. Los modelos en química son muy importantes, a pesar de su validez limitada.

Cuadro 3. Ideas centrales de consenso de 16 profesores de bachillerato de México y Argentina

la conveniencia de utilizar modelos en la enseñanza de las ciencias. Como se ve, estos profesores lograron un conjunto importante de ideas centrales sobre las cuales contestaron la ReCo.

No pienso entrar en detalles aquí acerca de los hallazgos con estos 16 profesores (ver Garritz y Trinidad, 2006). Sólo deseo hacer énfasis en que los siguientes puntos fueron mencionados por alguno de ellos como estrategias didácticas para transmitir a sus estudiantes la visión científica del modelo cinético corpuscular, en el intento de vencer sus ideas preexistentes.

- Construir una caja negra para que los alumnos intenten adivinar su contenido por medios indirectos.
- Mostrar fotos de microscopías modernas (STM), para hacer evidente la existencia real de los átomos.
- Realización de experimentos breves que sugieran la presencia de partículas. Como por ejemplo resaltar a través del microscopio las gotas de grasa en la crema y poder ver así el movimiento de algo que aparentemente está estático; o actividades experimentales con gases, de difusión o de solubilidad; por ejemplo la penetración de un colorante a través del hielo.
- Fomentar el uso de la imaginación. Emplear para ello los “lentes mágicos” que sirvan para “ver” el detalle microscópico.

Conviene concluir esta sección mencionando que los tres grupos de profesores aceptaron que se escribiera un Re-PyP de cada uno de ellos (a solicitud de los lectores, el autor puede proporcionar con gusto estos Re-PyPs):

- UNAM: “Elaborando un modelo” (La experiencia de la caja negra).
- Nivel polimodal argentino: “Usando microscopía para enseñar estructura de la materia”.

- IEMS: “Otras formas de ver el mundo” (Trabajos prácticos para tratar de convencer a los alumnos sobre la estructura corpuscular).

Colocamos en la figura de la siguiente página algunas fotos de elementos interesantes de cada uno de estos tres Re-PyPs.

Conclusión: A manera de colofón del CPC: un concepto francamente extendido entre los investigadores educativos

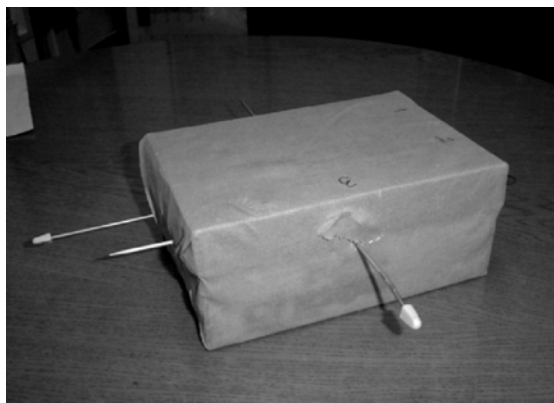
Sólo deseo concluir remarcando el hecho de que el CPC forma parte sustantiva de la investigación de hoy en la enseñanza de las ciencias. Actualmente está incluido en los Estándares de Desarrollo Profesional de los Profesores de Ciencias de los Estados Unidos, en particular en sus estándares nacionales de la educación en ciencias (NRC, pp. 62-68, 1996; ver así mismo en Enfield, 1999 cómo lo incluye la National Association of Science Teachers).

Por otra parte, busqué “Pedagogical Content Knowledge” o “PCK” en los títulos de los trabajos de la reunión de la National Association of Research in Science Teaching (NARST), en Vancouver, Canadá, en abril de 2004, y aparecen 13 trabajos, que provienen de 10 países diferentes. En la reunión de la misma asociación del año 2006, en San Francisco, hubo 19 trabajos de 8 países.

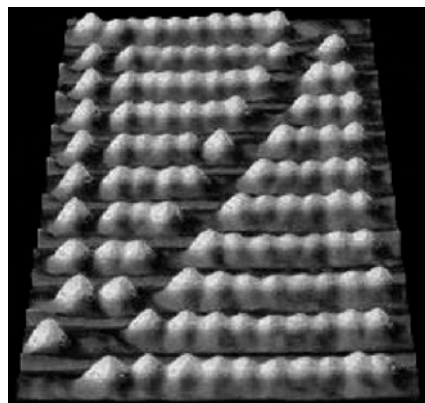
Los busqué también en la V Conferencia de la ESERA (European Science Education Research Association), en agosto de 2005 y aparecen 15 trabajos al buscar en sus títulos, más otros 11 trabajos que lo citan en su resumen, con autores que provienen de 17 países diferentes (8 de ellos son europeos y traigo a colación la nacionalidad de Shulman: estadounidense). Está citado el concepto “PCK” 228 veces en los resúmenes extendidos de los 322 trabajos del congreso y el de “pedagogical content knowledge” otras 111 veces.



Elaborado por una mexicana del IEMS.



Elaborado por una profesora del CCH de la UNAM.



Elaborado por una profesora argentina del nivel polimodal.

Notas

1. Paidogogía, del griego *país*, *paídos*, niño, niños y *ago*, *agein*, conducir, designa en sus orígenes, al esclavo encargado de llevar al niño a la *paidea*, la escuela (Gallego, 1992).

Referencias

- BARNETT, J. y Hodson, D. (2001). Pedagogical Context Knowledge: Toward a Fuller Understanding of What Good Science Teachers Know, *Science Education*, 85, 426–453.
- BAXTER, J. A. y Lederman, N. G. (1999). Assessment and Measurement of Pedagogical Content Knowledge. In Gess-Newsome, J., Lederman, N. G. (eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 147-162.
- BOND Robinson, J. (2005). Identifying pedagogical content knowledge (PCK) in the chemistry laboratory, *Chemistry Education Research and Practice*, 6(2), 83-103
- BROPHY, J. (2001). Introduction. In J. Brophy (ed.) *Subject specific instructional methods and activities. Advances in Research on Teaching, volume 8*, Amsterdam: JAI (Elsevier), pp. 1-23.
- CARLSEN, W. (1999). Domains of teacher knowledge. En Gess-Newsome, J. y Lederman, N. G. (eds.). *Examining Pedagogical Content Knowledge*. Dordrecht: Kluwer, pp. 133-146.
- CARTER, K. y Anders, D. (1996). Program pedagogy. In F. B. Murray (ed.), *The Teacher Educator's Handbook*, San Francisco: Jossey-Bass, pp.557-592.

- COCHRAN, K. F., Deruiter, J. A. y King, R. A. (1993). Pedagogical content knowing: an integrative model for teacher preparation, *Journal of Teacher Education*, 44, 263-272.
- DE JONG, O., Korthagen, F. y Wubbels, T. (1998). Research on Science Teacher Education in Europe: Teacher Thinking and Conceptual Change, en Fraser, B. J. y Tobin, K. G. (Eds.), *International Handbook of Science Education*, Great Britain: Kluwer, pp. 745–758.
- DE JONG, O. y van der Valk, T. (2005). Science teachers' PCK and teaching practice: learning to scaffold students' open-inquiry learning. Contribution in V-ESERA Conference, Barcelona, Spain, 28 August-1st September.
- ENFIELD, M. (1999). Content and Pedagogy: Intersection in the NSTA Standards for Science Teacher Education. Consultada por última vez el 3 de mayo de 2006 en la URL <http://www.msu.edu/~dugganha/PCK.htm>.
- FULLAT, O. (1983) *Filosofías de la educación*. Barcelona: ediciones CEAC, 434 pp.
- y Sarramona, J. (1984) La esencia de la educación. En *Cuestiones de educación (Análisis bifronte)*. Barcelona: ediciones CEAC, pp.29-34.
- GALLEGO BADILLO, R. (1992). *Saber pedagógico: Una visión alternativa*. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio.
- GARCÍA C. J. y García del Dujo, A. (1996). *Teoría de educación*. España: Santillana.
- GARRITZ, A. y Trinidad-Velasco, R. (2004). El conocimiento pedagógico del contenido (Editorial), *Educación Química*, 15(2), 98-103.
- y Trinidad-Velasco, R. (2006). El conocimiento pedagógico de la naturaleza corpuscular de la materia, *Educación Química*, 17(X), 236-263.
- Porro, S., Rembado, F. M. y Trinidad, R. (2007). Latin-American teachers' pedagogical content knowledge of the particulate nature of matter. *Journal of Science Education* 8(2) 79-84.
- GEDDIS, A. N. (1993). Transforming subject-matter knowledge: the role of pedagogical content knowledge in learning to reflect on teaching, *International Journal of Science Education*, 15(6), 673-683.
- GINER de los Ríos, F. (1905) *Pedagogía universitaria. Problemas y noticias*, Madrid: Boletín de la Institución Libre de Enseñanza.
- KAGAN, D. M. (1990). Ways of Evaluating Teacher Cognition: Inferences Concerning the Goldilocks Principle, *Review of Educational Research*, 60(3), 419-469.
- LLORENS, J.A. La concepción molecular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. *Investigación en la Escuela*, 4, 33-48, 1988.
- LOUGHRAN, J., Berry, A., Mulhall, P. y Gunstone, R. F. (2001a). *Attempting to capture and portray science teachers' pedagogical content knowledge: Particle theory*. Melbourne: Monash University.
- Milroy, P., Gunstone, R., Berry, A. y Mulhall, P. (2001b). Documenting Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge Through PaP-eRs. *Research in Science Education*, 31, 289-307.
- Mulhall, P. y Berry, A. (2004). In Search of Pedagogical Content Knowledge in Science: Developing Ways of Articulating and Documenting Professional Practice, *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 370–391.

- Berry, A. y Mulhall, P. (2006). *Understanding and Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge*, Rotterdam: Sense Publishers, 240 pp. ISBN: 90-77874-23-2.
- LUZURIAGA, L. (1950). *Pedagogía*, Buenos Aires: Editorial Losada, 331 pp.
- MARTÍN del Pozo, R. y Porlán, R. (1999). "Tendencias en la formación inicial del profesorado sobre los contenidos escolares," *Revista Interuniversitaria de Formación del profesorado* (Madrid), 35, 115-128.
- MATHIJSEN, I. C. H., van Driel, J., Bulte, A. M. W. y Pilot, A. (2006). Constructing pedagogical content knowledge in cooperation with science teachers adopting a context-based approach. Presented in the meeting of NARST-2006 in San Francisco, USA.
- MCEWAN, H. y Bull, B. (1991). The Pedagogic Nature of Subject Matter Knowledge, *American Educational Research Journal*, 28(2), 316-334.
- NRC, National Research Council (1996). *National Science Education Standards*, Washington, DC, National Academic Press, ix + 252 pp.
- NUSSBAUM, J. (1985). The Particulate Nature of Matter in the Gaseous Phase. In R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien (Eds.), *Children's Ideas in Science*, Open University Press: Philadelphia, pp. 125-144.
- PARCHMANN, I., Gräsel, C., Baer, A., Nentwig, P., Demuth, R., Ralle B. y el Grupo del Proyecto ChiK (2006). "Chemie im Kontext" (ChiK): A symbiotic implementation of a context-based teaching and learning approach, *International Journal of Science Education*, 28(9), 1041-1062.
- POPPER, K. R. (1973). La lógica de las ciencias sociales. En Theodor W. Adorno, Karl R. Popper, et al. (edit.) *La disputa del positivismo en la sociología alemana*. Traducción de Jacobo Muñoz. Barcelona: Grijalbo (Colección Teoría y Realidad # 1). 328 pp.
- POSNER, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. y Gertzog, W. A., Accomodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change, *Science Education*, 66(2), 211-227 (1982).
- POZO, J. I. y Gómez Crespo, M. Á. (1997). "¿Qué es lo que hace difícil la comprensión de la ciencia? Algunas explicaciones y propuestas para la enseñanza", en Del Carmen, L. (coord.), *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria, Cuadernos de formación del profesorado*, 2da. Edición, Barcelona: ICE/Horsori, pp.73-105.
- PSILLOS, D., Spyrtou, A. y Kariotoglou, P. (2005). Science teacher education: issues and proposals. In K. Boursma et al. (eds.) *Research and the Quality of Science Education*, Dordrecht: Springer, pp. 119-128.
- SALAZAR, S. F. (2005). El conocimiento pedagógico del contenido como categoría de estudio de la formación docente. *Actualidades investigativas en educación* Vol. 5 No. 2.
- SEGAL, A. (2004). Revisiting pedagogical content knowledge: the pedagogy of content/the content of pedagogy. *Teaching and Teacher Education*, 20, 489-504.
- SHULMAN, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching, *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.

- y Sykes, G. (1986). *A national board for teaching? In search of a bold standard: A report for the task force on teaching as a profession*. New York: Carnegie Corporation.
- (1999). Foreword in Gess-Newsome, J., Lederman, N. G. (Eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pp. ix-xii.
- TALANQUER, V., Novodvorsky, I., Slater, T. F. y Tomanek, D. (2003). A Stronger Role for Science Departments in the Preparation of Future Chemistry Teachers, *Journal of Chemical Education*, 80(10), 1168-1171.
- (2004). Formación Docente: ¿Qué conocimiento distingue a los buenos maestros de química?, *Educación Química*, 15(1), 52-58.
- TAMIR, P. (1988). Subject matter and related pedagogical knowledge in teacher education. *Teaching & Teacher Education*, 4(2), 99-110.
- VAN DRIEL, J. H., Verloop, N. y de Vos, W. (1998). Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge, *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 673-695.
- VAN DRIEL, J. H., de Jong, O. y Verloop, N. (2002). The Development of Preservice Chemistry Teachers' Pedagogical Content Knowledge, *Science Education*, 86(4), 572-590.

De las interacciones químicas... al tetraedro de las sustancias

Plinio Sosa Fernández

Introducción

El concepto de *enlace químico* es un concepto abstracto, difícil de enseñar y difícil de aprender. Esta dificultad proviene del hecho de que una correcta descripción del enlace químico sólo se puede lograr mediante el pesado aparato matemático de la mecánica cuántica. Obviamente, no tendría ningún sentido enseñar mecánica cuántica, digamos a nivel bachillerato, para poder presentar el tema del enlace.

Tradicionalmente, este concepto suele enseñarse tratando de recurrir lo menos posible al modelo de la mecánica cuántica. Sin embargo, en el camino, también se ha prescindido de hacer referencia a su naturaleza eléctrica. Se habla de compartir electrones y de que se requieren 8 electrones alrededor de cada átomo. Se habla, también, de 2 átomos unidos con un enlace como si se tratara de 3 objetos: dos átomos y, además, un enlace. Se dice, además, que los enlaces contienen energía y que ésta se libera durante las reacciones químicas.

Esta presentación llena de misterios genera ciertas dudas entre los alumnos: como pueden ser las siguientes:

- ¿Por qué compartir electrones hace que se mantengan unidos los átomos?
- ¿Por qué se requieren 8 electrones para estabilizar los sistemas polielectrónicos?

El alumno no se queda pasivamente con sus dudas sino que trata de darle sentido a toda esa información. El no saber que el *enlace químico* es un fenómeno eléctrico hace que el aprendiz construya una analogía mecánica en la que considera el enlace como algo material que contiene energía en su interior (ajeno a lo que se va a enlazar) y que funciona como una especie de cuerda que “amarra” a los átomos.

En esta analogía mecánica de la cuerda es fácil imaginar que, al romperse un enlace químico, se libera energía. Más o menos como lo que ocurriría si, por ejemplo, dos personas estuvieran disputando la posesión de una reata, jalándola cada quien hacia sí, y una tercera persona cortara

la reata por la mitad: las otras dos saldrían disparadas, con una cierta energía cinética, en direcciones opuestas!

La analogía de la cuerda genera, por lo menos, las siguientes cinco ideas incorrectas:

- Que el enlace es algo material independiente de los átomos.
- Que la unión entre los átomos es de tipo mecánica como lo que ocurre al amarrar dos objetos con una cuerda.
- Que el enlace es un recipiente que contiene energía en su interior.
- Que la energía es algo material que se puede guardar en algún recipiente.
- Que al romperse un enlace, se libera energía.

En realidad, el enlace no es algo material sino el resultado de una serie de interacciones entre las partes cargadas eléctricamente (núcleos y electrones) de las partículas químicas (iones, moléculas y átomos). En este trabajo se propone una manera de presentar el tema del enlace químico basada en las interacciones electrostáticas entre núcleos y electrones y entre partículas vecinas.

Definiciones básicas

Para el tema de enlace químico es conveniente que los alumnos precisen los siguientes conceptos básicos: materiales, sustancias, mezclas, partículas químicas, núcleos, electrones, etc.

A continuación se presentan unas definiciones funcionales, especialmente pensadas para apoyar temas más avanzados de la química como enlace químico y reacción química.

Materiales. Son todas las sustancias y mezclas de sustancias de que están hechos los objetos, los seres y los cuerpos. Un determinado material puede estar constituido por una o por varias sustancias.

Sustancias. Son materiales de aspecto homogéneo que constan de un solo constituyente. Cada sustancia posee un conjunto de propiedades específicas que la distingue de las demás sustancias. Consisten de unas pequeñas partículas llamadas *iones*, *moléculas* o *átomos*. Se tienen registradas más de 42 millones de sustancias¹.

Mezcla. En química, se refiere a un material constituido por dos o más sustancias. La *composición química de una mezcla* indica cuáles sustancias, cuántas y en qué proporción la constituyen.

- **Mezcla heterogénea.** Un material de aspecto heterogéneo constituido por varias sustancias. Se distinguen a simple vista dos o más sustancias (de ahí su aspecto heterogéneo).

- **Mezcla homogénea.** Un material de aspecto homogéneo constituido por varias sustancias. No se distingue a simple vista que estén formados por dos o más sustancias (por eso su aspecto homogéneo).

En la figura 1 se muestra un diagrama de flujo que sirve para clasificar los materiales.

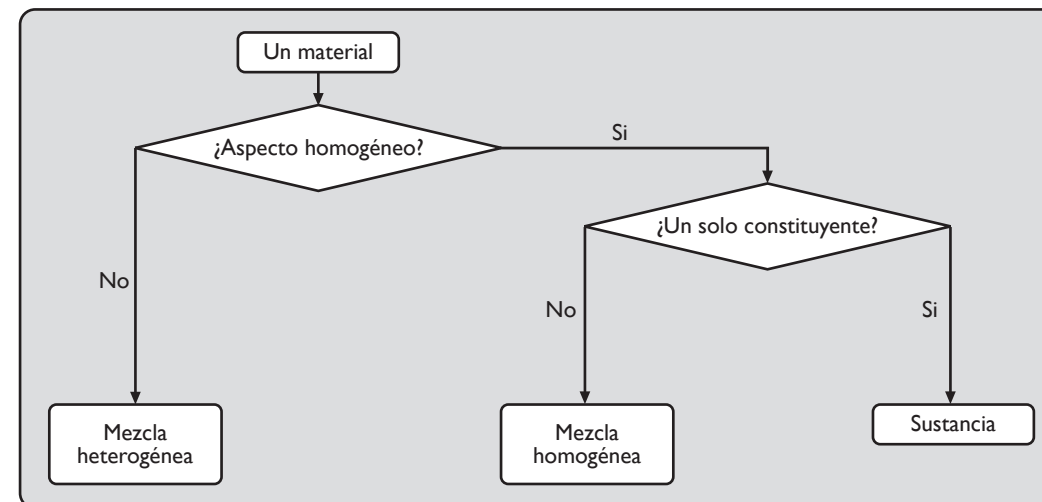


Figura 1. Criterios para decidir si un material es una mezcla heterogénea, una mezcla homogénea o, simplemente, una sustancia.

Partículas químicas. Son las pequeñas unidades que integran a una sustancia. Son muy pequeñas y muy ligeras. Tanto que en unos cuantos gramos de cualquier sustancia hay del orden de un cuatrillón de partículas. Están constituidas por un cierto número de núcleos (con carga eléctrica positiva) interactuando con un cierto número de electrones (con carga eléctrica negativa). Pueden ser iones (partículas cargadas mono o polinucleares), moléculas (partículas polinucleares neutras) o átomos (partículas mononucleares neutras). Ver la figura 2.

Partículas químicas				
		Mononucleares		
Neutras	Átomos	Iones		Cargadas
	Moléculas			
		Polinucleares		

Figura 2. Clasificación de las partículas químicas

Núcleos. Son la parte positiva de las partículas químicas. La mayor parte de la masa de las partículas químicas se encuentra concentrada, precisamente, en los núcleos. Están formados por protones (con carga positiva) y neutrones (sin carga)

Electrones. Son la parte negativa de las partículas químicas. No se puede saber ni su forma, ni su tamaño, ni su localización precisa, ni cómo se mueven. Se distribuyen por capas alrededor de los núcleos. Ocupan regiones inmensamente grandes (comparadas con el tamaño de los núcleos) llamadas *dominios electrónicos*. Los electrones más externos (los de la última capa) ocupan regiones tan grandes como las propias partículas químicas a las que pertenecen.

La relación que hay entre sustancia y partícula es similar a la que hay entre manada y búfalo. Es decir, *sustancia* se refiere al conjunto, mientras que *partícula* se refiere a un solo individuo.

Las partículas químicas que integran a las distintas sustancias tienen formas y tamaños determinados. Por ejemplo, las moléculas de agua tienen una forma similar a la de un riñón (figura 3).

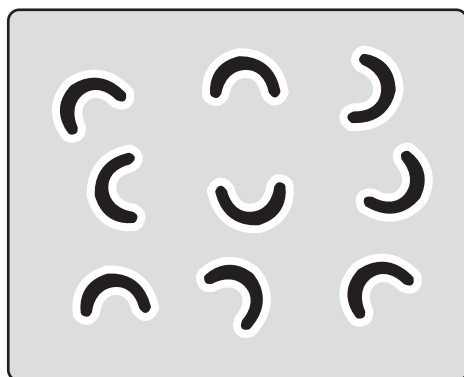


Figura 3. Silueta de varias moléculas de agua

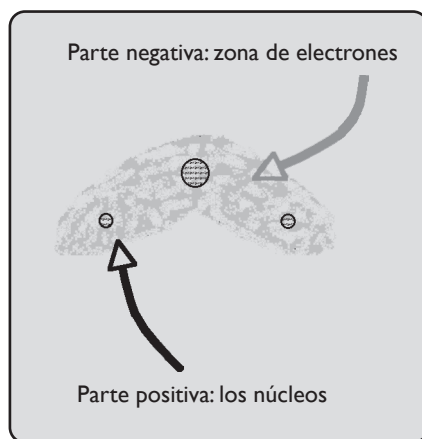


Figura 4. Las moléculas de agua, al igual que cualquier otra partícula química, tienen partes positivas (los núcleos) y partes negativas (los electrones).

A pesar de su extraordinaria pequeñez, las partículas químicas poseen una estructura interna. Dicha estructura es de naturaleza eléctrica: tienen partes positivas (los núcleos) y partes negativas (los electrones). En la figura 4, se representa el interior de una molécula de agua. Las pequeñas esferas negras representan a la parte positiva (los núcleos) mientras que la zona sombreada representa la parte negativa (la región donde se encuentran los electrones puesto que, de éstos, no se conoce ni su forma ni su tamaño).

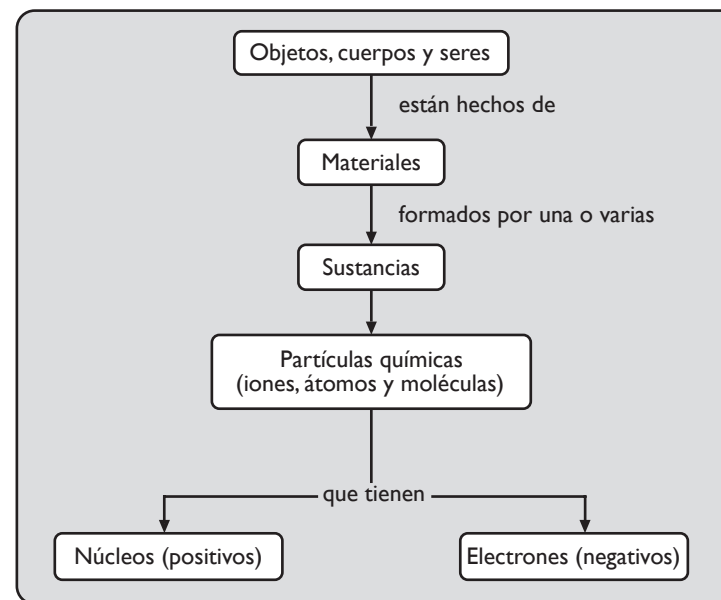


Figura 5. Mapa conceptual sobre "De qué están hechas las cosas"

En las inmediaciones de la superficie terrestre, todos los objetos, los cuerpos y los seres que existen, están hechos de *materiales*. Los materiales, a su vez, pueden estar formados por uno o varios constituyentes llamados *sustancias*. Las sustancias consisten de pequeñas partículas llamadas *iones*, *moléculas* y *átomos*. La figura 5 es un mapa conceptual donde se resume dicha información.

Polaridad

En la figura 6, se muestra la estructura interna de una molécula de hidrógeno, H_2 . Se trata de dos núcleos inmersos en la zona donde se encuentran los electrones de enlace. Y es el resultado de la interacción eléctrica entre los dos núcleos (cada uno con carga 1^+) y la zona o dominio electrónico (con carga 2^-).

Como se puede observar, la zona donde se mueven los electrones de enlace (el dominio electrónico) es perfectamente simétrica. Esto es así porque los dos núcleos son idénticos (ambos son núcleos de hidrógeno). Quiere decir que los electrones están siendo atraídos por ambos núcleos en la misma magnitud. Si dividiéramos la molécula exactamente por la mitad, la carga del dominio electrónico (2^-) estaría distribuida en forma perfectamente equitativa: 1^- en cada lado. Por lo tanto, la carga neta en cada lado sería exactamente igual a cero.

Fórmula molecular. Representación de Lewis

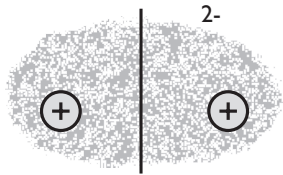
H ₂			
	H - H 		
Carga del núcleo izquierdo	1+	1+	Carga del núcleo derecho
Carga negativa que queda del lado izquierdo	1-	1-	Carga negativa que queda del lado derecho
Carga neta del lado izquierdo	0	0	Carga neta del lado derecho

Figura 6. Estructura interna de las moléculas de hidrógeno. Cuando en un enlace, los cores (o núcleos, en el caso del hidrógeno) tienen la misma electronegatividad –es decir que atraen los electrones con la misma intensidad–, la carga eléctrica neta en sus extremos es igual a cero.

Fórmula molecular. Representación de Lewis

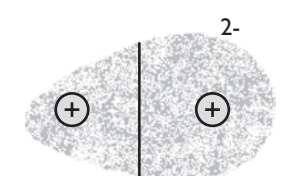
HCl			
	H - Cl 		
Estructura interna de las moléculas de hidrógeno			
Carga del núcleo de hidrógeno	1+	1+	Carga del core de cloro
Carga negativa que queda del lado del hidrógeno	-0.83	-1.17	Carga negativa que queda del lado del cloro
Carga neta del lado izquierdo	+0.17	-0.17	Carga neta del lado derecho

Figura 7. Cuando en un enlace, los cores (o núcleos) tienen distinta electronegatividad –es decir, uno atrae los electrones con más intensidad que el otro–, se generan un polo eléctrico positivo y otro negativo.

Cuando los *cores* (o núcleos) son distintos, el dominio electrónico se deforma hacia el del elemento más electronegativo. Es lo que ocurre en la molécula del cloruro de hidrógeno (Figura 7).

Como se ve, el dominio no tiene una forma simétrica sino que está distorsionado hacia el *core* del cloro. Al dividir la molécula exactamente por la mitad, se encuentra que la carga del dominio electrónico (2-) está distribuida así: -0.83 del lado del hidrógeno y -1.17 del lado del cloro². Por lo tanto, la carga neta del lado del hidrógeno es + 0.17 y del lado del cloro, -0.17. Es decir, la molécula de cloruro de hidrógeno tiene polos eléctricos: uno, positivo, del lado del hidrógeno y otro, negativo, del lado del cloro.

Las moléculas, como la de hidrógeno que no tienen polos eléctricos se llaman moléculas *no polares*. Las moléculas, como las del cloruro de hidrógeno, que tienen polos eléctricos se llaman moléculas *polares*.

Interacciones eléctricas en y entre las partículas

Dada la naturaleza eléctrica de las partículas químicas, es decir, dado que están constituidas por núcleos positivos y electrones negativos, las interacciones químicas son simplemente la consecuencia o *el resultado de la interacción eléctrica entre sus partes*.

Las interacciones químicas engloban dos casos específicos: obviamente, *la interacción eléctrica entre núcleos y electrones* pero, también, *la interacción eléctrica entre partículas vecinas*. O sea que las partículas químicas (iones, moléculas y átomos) también se atraen y se repelen entre sí, debido a su naturaleza eléctrica. Pueden interactuar iones con otros iones. Iones con moléculas polares. Moléculas polares con otras moléculas polares. Y, para colmo, si están suficientemente cerca de sus vecinas, también las moléculas no polares pueden interactuar con otras partículas químicas: iones con moléculas no polares, moléculas polares con no polares y hasta no polares con no polares.

Como es costumbre en la ciencia, la explicación y la descripción de los fenómenos se realiza a través de pequeños modelos teóricos que se refieren, en realidad, a casos ideales o límite³. Aquí, toda la abrumadora complejidad de las interacciones químicas se puede describir a partir de cuatro modelos límite: el del *enlace covalente*, el del *enlace metálico*, el del *enlace iónico* y el de las *interacciones dipolares*.

Los dos primeros (el del enlace covalente y el del enlace metálico) corresponden a interacciones núcleo–electrónicas y, por lo tanto, están basados en la mecánica cuántica.

En cambio, los otros dos (el del enlace iónico y el de las interacciones dipolares) corresponden a interacciones entre partículas. Evidentemente estas interacciones pueden ser descritas

perfectamente mediante la mecánica cuántica. Pero, por fortuna, también es posible describirlas adecuadamente con el modelo electrostático de la física clásica.

El modelo del enlace covalente describe la interacción entre unos cuantos núcleos (o *cores*) y unos cuantos electrones dentro de una partícula, aunque el caso más común es específicamente el de dos núcleos (o *cores*) y dos electrones.

El modelo del enlace metálico describe la interacción entre muchísimos *cores* y muchísimos electrones.

El modelo del enlace iónico describe la interacción entre iones vecinos.

El modelo de las interacciones dipolares describe la interacción de las partículas neutras con sus vecinas (iones, moléculas o átomos). Estas últimas, las dipolares son mucho más débiles que los enlaces (covalente, metálico e iónico).

Interacciones núcleo–electrónicas

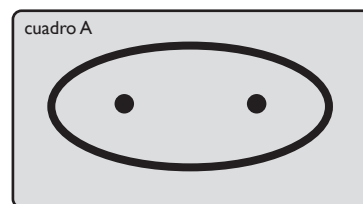
Son las interacciones eléctricas que se dan entre núcleos y electrones. Hay dos casos límite:

- Cuando dos electrones se encuentran localizados entre dos núcleos o *cores* (o sea, una interacción “dos a dos”) y
- Cuando todos los electrones se encuentran deslocalizados en una red de *cores*⁴ (o sea, interactuando todos contra todos).

El primer caso –la interacción “dos a dos”– se describe mediante el modelo del enlace covalente. El segundo mediante el modelo del enlace metálico.

Enlace covalente

Es la interacción eléctrica de dos electrones y dos núcleos (o dos *cores*). Para describirlo adecuadamente se requiere de la Mecánica Cuántica. El resultado es del que ya hemos hablado anteriormente: dos *cores* inmersos en el dominio de un par de electrones (*cuadro A*)



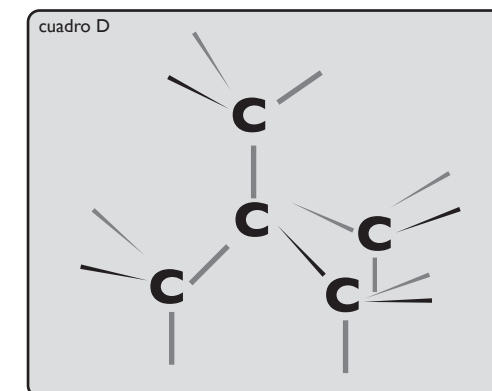
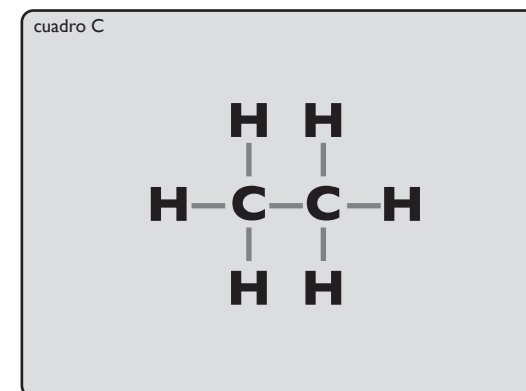
Usando el código de las estructuras de Lewis, la representación de un enlace covalente quedaría como en el *cuadro B*.



Es decir, las letras representan a los *cores* (los núcleos junto con los electrones internos) de los elementos X y Y mientras que la raya representa al par de electrones. Se dice que X y Y están enlazados porque comparten un par de electrones⁵. La palabra *covalente*, acuñada en el contexto de la química, es la que se acostumbra usar para decir que se comparten electrones.

Como ya se ha señalado, cualquier partícula polinuclear se puede representar como una cadena de enlaces covalentes. Así, las moléculas de etano se representan como en el *cuadro C*.

Y la red covalente del diamante se representa como en el *cuadro D*.



Hay enlaces covalentes en todas las sustancias no metálicas que consistan de partículas polinucleares. Es decir, también hay enlaces covalentes en algunas sustancias iónicas, aquellas que consistan de iones polinucleares. Por mencionar un ejemplo tomemos el caso del sulfato de amonio, NH_4SO_4 . Evidentemente consiste de una red de iones sulfato, SO_4^{2-} , e iones amonio, NH_4^+ , interactuando entre sí pero los núcleos de cada ion se mantienen unidos mediante enlaces covalentes (figura 8):

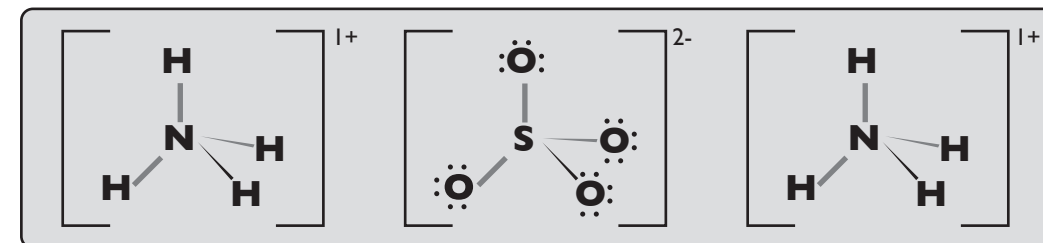


Figura 8. Los iones sulfato y amonio en el sulfato de amonio

Enlace metálico

Es la interacción eléctrica de una cantidad enorme de *cores* y electrones. También es indispensable la Mecánica Cuántica para poderlo describir satisfactoriamente. El resultado que proporciona esta elegante teoría es el de un número enorme de núcleos inmersos, no en el dominio de tan sólo un par de electrones, sino en el dominio del mismo inmenso número de electrones. A la imagen de esta interacción (figura 9) se le suele dar el nombre de *modelo del mar electrones*.

En el enlace metálico también se comparten electrones. Sólo que ahora son muchos electrones compartidos por muchos *cores*. En este sentido, no hay una diferencia fundamental entre lo que llamamos enlace covalente y lo que denominamos enlace metálico. Lo que ocurre (interacción eléctrica entre *cores* y electrones) es exactamente lo mismo siendo el número de *cores* y electrones involucrados lo único que cambia.

En esta situación de muchos electrones interactuando con mucho *cores*, los electrones están unidos más débilmente que en el caso “dos a dos” del enlace covalente. Ésa es la razón por la que los sistemas metálicos son buenos conductores de la electricidad: es fácil mover los electrones porque la atracción que ejercen los *cores* sobre ellos es muy débil!

Interacciones partícula-partícula

Enlace iónico

Es la interacción eléctrica entre un número muy grande de iones de carga opuesta. Se puede describir adecuadamente suponiendo que los iones son simplemente puntos con carga (sin masa ni volumen ni forma). Para una mejor descripción, se requeriría de la Mecánica Cuántica. Se puede representar como una red tridimensional donde todos los iones interactúan simultáneamente (figura 10):

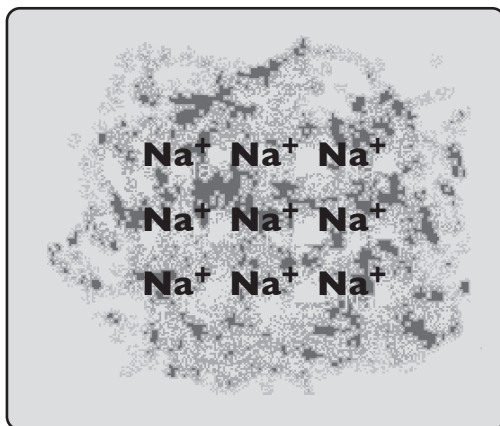


Figura 9. Modelo del mar de electrones para el enlace metálico

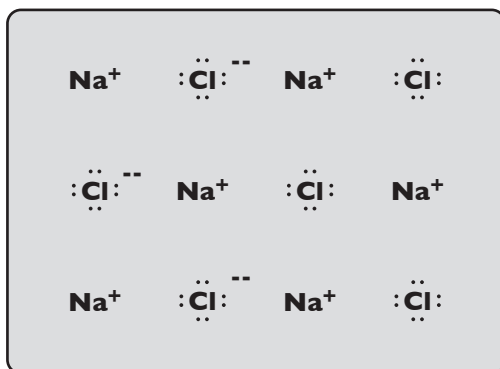


Figura 10. Interacción entre iones vecinos en una sustancia iónica.

Interacciones dipolares

Es la interacción eléctrica entre partículas neutras (polares o no polares) y sus vecinas. Son más débiles que los enlaces covalente, iónico y metálico. Para su descripción, los iones pueden modelarse como puntos cargados y las moléculas como dipolos eléctricos. Son las responsables de los estados físicos, de la solubilidad y del inicio de las reacciones químicas de materiales y sustancias. En la tabla I, se muestran las 5 posibles interacciones dipolares.

Ion-polar	(ion-dipolo permanente)
Polar-polar	(dipolo permanente-dipolo permanente)
Ion-no polar	(ion-dipolo inducido)
Polar-no polar	(dipolo permanente-dipolo inducido)
No polar-no polar	(dipolo instantáneo-dipolo inducido)

Tabla I. Tipos de interacciones dipolares (mecanismo)

Ion-polar

Este tipo de interacción se da, por ejemplo, al disolver sal (una sustancia iónica) en agua. Cuando agregamos sal a nuestra sopa, parece como si los granitos de sal simplemente se esfumaran. Lo que realmente ocurre es que los iones Na^+ y Cl^- de la red cristalina y las moléculas polares del agua se atraen mutuamente dando como resultado la desintegración de la red. Cada ion es “secuestrado” y rodeado por millones de moléculas de agua. Los miles de trillones de iones que formaban el grano de sal se separan totalmente y cada uno queda lejos, muy lejos de los demás, rodeado por una enorme cantidad de moléculas de agua. Las moléculas de agua cercanas a los iones Na^+ , se encuentran con el oxígeno (polo negativo) orientado precisamente hacia los Na^+ (Figura 11). Del mismo modo, las moléculas de agua cercanas a los iones Cl^- , se orientan con los hidrógenos hacia el Cl^- (figura 12).

Obviamente la interacción que ocurre en una mezcla de sal y agua es una de tipo ion-dipolo permanente. Nadie ocupa posiciones fijas. Iones y moléculas se mueven incesantemente arrastrándose unos a otros.

No todas las sustancias iónicas son solubles en agua. Depende de si las interacciones en la mezcla son mayores o menores que en el cristal. El carbonato de calcio, por ejemplo, no se

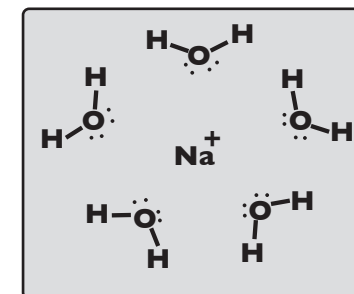


Figura 11. Interacción eléctrica entre las moléculas polares de agua y el ion sodio, Na^+ .

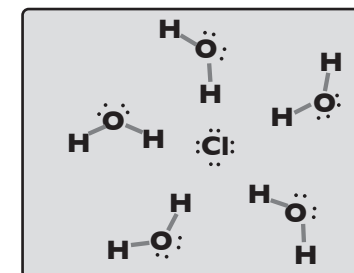


Figura 12 Interacción eléctrica entre las moléculas polares de agua y el ion cloruro, Cl^- .

disuelve en agua. La interacción de este compuesto con el agua no es suficiente para deshacer la red iónica.

Una analogía curiosa para el proceso de disolución podría ser la siguiente. Imaginen que se organiza un viaje a China al que va a ir el grupo en el que tú estudias. Para no perderse en Beijing, cada quien viste una playera tricolor (¡Viva México!). El primer lugar que visitan es la enorme Plaza de Tianamen que está repleta de chinos (vestidos de amarillo porque participan en algún tipo de celebración). Desde un helicóptero se aprecia perfectamente una mancha tricolor en medio de una plaza totalmente pintada de amarillo. Pero eso... dura muy poco. Causan tal furor entre la comunidad china, que todos los chinos quieren estar cerca de ustedes. Se arremolinan, los jalan, se los llevan. La mancha tricolor desaparece, ustedes se dispersan y cada uno queda rodeado de cientos de chinos. Al voltear, no ven un solo mexicano: ¿puros chinos! Pero no se quedan quietos, se mueven a un lado y a otro... quizás con la vana esperanza de volverse a encontrar y reagruparse. Y detrás de ustedes, cientos de chinos siguiéndolos a donde vayan. Desde el helicóptero, todo se ve amarillo.

Por supuesto que se trata de una analogía, tan sólo. ¿Ni ustedes no son iones ni sus amigos chinos son moléculas polares!

Polar–polar

Se presenta al disolver una sustancia polar en otra también polar. El azúcar, el alcohol y la acetona son sustancias polares que contienen enlaces polarizados O–H o C=O. El agua también es polar. La interacción por tanto es dipolo permanente–dipolo permanente. Como regla general, “lo semejante disuelve a lo semejante”, o sea, polar disuelve a polar.

Ion–no polar

Sería una interacción entre una sustancia iónica y otra no polar. Es sumamente débil. El cloruro de sodio casi no se disuelve en hexano porque no son semejantes en polaridad. El cloruro de sodio es iónico (el colmo de la polaridad!) mientras que el hexano consiste de moléculas no polares. Sin embargo, lo poco que se disuelve tiene que ser, forzosamente, una interacción ion–dipolo inducido. Los iones Na⁺ y Cl[–] polarizan las moléculas de hexano.

Polar–no polar

Esta interacción ocurre entre sustancias polares y no polares. También es sumamente débil. El oxígeno es una sustancia no polar. El agua, por el contrario, es una sustancia polar. Si tomáramos al pie de la letra la conseja de “similar disuelve a similar” llegaríamos a la conclusión errónea de que nada de oxígeno, en lo absoluto, se disuelve en agua. No es verdad, lo cierto es que sí se disuelve un

poco, muy poco, de oxígeno. Esa pequeña cantidad de oxígeno que se disuelve en el agua es la que aprovechan los peces para respirar. La interacción es de tipo dipolo permanente–dipolo inducido. Es decir, las moléculas polares de agua inducen un dipolo en las moléculas no polares de oxígeno.

No polar–no polar

Esta interacción es la más débil de todas. Es muy común que cuando algo se mancha de grasa, usemos gasolina para desmancharlo. Es porque las moléculas de las sustancias que constituyen a la gasolina (una mezcla de muchas sustancias) y las moléculas de aceite (o grasa) son no polares. En este caso, la interacción eléctrica es mínima puesto que se trata de interacciones dipolo instantáneo–dipolo inducido. No es la atracción eléctrica la principal razón por la que se disuelven entre sí las sustancias no polares. Es más importante el hecho de que se están moviendo y, poco a poco, se van dispersando. Luego, no hay manera de que, de forma espontánea, se vuelvan a reagrupar, es decir, a separar en gasolina por un lado y aceite (o grasa), por el otro.

Estrictamente no hay ninguna diferencia fundamental entre todos estos tipos de interacciones. Todas (enlace covalente, enlace metálico, enlace iónico e interacciones dipolares) son simplemente interacciones eléctricas. Si acaso hay diferencia, es en la magnitud de la interacción. *Las interacciones núcleo-electrón y las interacciones ion-ion son de magnitud similar, es decir son fuertes. En cambio, las interacciones dipolares son mucho más débiles.* Para dar cuenta de esta diferencia en magnitud, a las primeras les vamos a dar el nombre de *enlaces* y a las segundas les vamos a dejar el nombre de *interacciones*.

Dicho de otro modo, sólo por convención, vamos a usar la palabra *enlace* para referirnos a las interacciones eléctricas fuertes y la palabra *interacción* para las interacciones eléctricas débiles (obviamente en el contexto de la escala de las partículas químicas).

En este sentido el enlace químico es una interacción eléctrica fuerte que se da entre núcleos y electrones (modelos covalente y metálico) o entre iones vecinos (modelo iónico).

Reacción química

Sin embargo, todavía puede haber interacciones aún más fuertes que las que se dan en los enlaces. Cuando la interacción eléctrica entre dos partículas es muy pero muy fuerte se produce una reacción química. Entre los “jaloneos” y los “empujones” eléctricos (atracciones y repulsiones), los *cores* y los electrones se acomodan de tal manera que se forman otras partículas más estables que las originales. En la jerga de los químicos se dice que “se rompen los enlaces de los reactivos

y se forman los enlaces de los productos”. Lo que es cierto es que las partículas de los reactivos se desintegran y las partículas de los productos se forman.

Por ejemplo, si ponemos en contacto las sustancias hidrógeno y oxígeno, al chocar unas partículas con otras, la interacción eléctrica entre ellas es tan grande que se intercambian *cores* y electrones hasta formar partículas más estables (las de agua), figura 11.

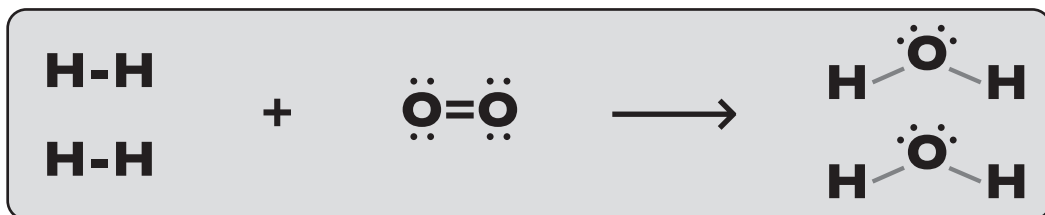


Figura 13. Reacción, a nivel molecular, entre hidrógeno y oxígeno para obtener agua

Como se puede observar, al final del proceso (*después* de la reacción), ya no hay moléculas de hidrógeno ni de oxígeno: sólo moléculas de agua. Sin embargo, en estas últimas hay núcleos de oxígeno (uno) y también núcleos de hidrógeno (dos). Los *cores* y los electrones han encontrado un mejor arreglo: el de las moléculas de agua! En la tabla 2 se resume toda la presentación del tema *enlace químico* que se ha discutido en este trabajo.

Núcleo-electrónicas		Entre partículas vecinas			
Covalentes		Iónicas		Dipolares	
2 e-/2 núcleos (e-localizados)	n e-/n núcleos (e-deslocalizados)	Ion/ion		Ion/dipolo	Dipolo/dipolo
Enlace químico		Interacciones			
Enlace covalente	Enlace metálico	Enlace iónico	Interacciones dipolares		
Exclusivamente modelos cuánticos		Admiten modelos clásicos			
Sustancias moleculares	Sustancias reticulares	Sustancias metálicas	Sustancias iónicas	NaCl/agua NaCl/EtOH	agua/EtOH agua/hexano hexano/Hexano
Agua	Diamante	Oro	NaCl		

Conclusiones

Para la presentación del tema de *enlace químico* se recomienda:

- Destacar que las partículas químicas (iones, moléculas y átomos) tienen una naturaleza eléctrica con partes positivas (los núcleos) y partes negativas (los electrones)

- Mostrar que las partículas neutras (moléculas y átomos) pueden ser visualizadas como dipolos eléctricos.
- Señalar que las zonas donde se mueven los electrones (los dominios electrónicos) se distorsionan fácilmente en presencia de otras cargas.
- Distinguir entre las interacciones núcleo–electrónicas y las interacciones entre partículas vecinas.
- Distinguir entre interacciones químicas fuertes (*enlace químico*) e interacciones químicas débiles (*interacciones dipolares*).
- Resaltar que en el enlace iónico la interacción se da entre partículas vecinas mientras que en el enlace covalente y en el metálico se da entre núcleos y electrones directamente.
- Mostrar que, aunque se consideren tres tipos de enlace, son cuatro tipos de sustancias: las moleculares, las reticulares, las metálicas y las iónicas.

Notas

¹ <http://www.cas.org/cgi-bin/regreport.pl>

² Esta distribución de carga se calculó a partir del valor experimental para el momento dipolo del enlace H-Cl reportado en la literatura.

³ Por ejemplo, las ecuaciones que explican la caída libre de un cuerpo corresponden al caso límite o ideal en el que no hay nada de aire que obstaculice el movimiento del cuerpo. Sin embargo, a partir de este modelo matemático, se pueden explicar los casos reales y concretos.

⁴ El *core* es el corazón del átomo e incluye al núcleo y a todos los electrones que no están en la última capa.

⁵ Aunque, en realidad, son dos *cores* y dos electrones interactuando eléctricamente, todos con todos. Sin embargo, las atracciones predominan sobre las repulsiones y, por eso, permanecen los cuatro unidos.

Referencias

GILLESPIE, R. J. (1994) *Atoms, Molecules, and Reactions: An Introduction to Chemistry*, Prentice Hall 1994

JENSEN W. B. (1979). *The Lewis Acid-Base Concepts: An Overview*, Krieger Pub Co.

KIND, V. (2004) *Más allá de las apariencias. Ideas previas sobre conceptos básicos de química*. México: Facultad de Química-Santillana.

SOSA, P. (1997) *Bájate de mi nube electrónica*, México, ADN Editores, S.A. de C.V

SOSA, P. (1999) De palabras, de conceptos y de orden. *Educación química* Vol. 10 (1) pp. 57-60.

SOSA, P. (2004) Química aritmética. Un primer paso hacia el cambio conceptual. *Educación química* Vol. 15 (3) pp. 248-255.

V, P. (2006) Buscando coherencia en la estructura básica de la química. Una propuesta pedagógica. pp. 97–106 en *Metl I.*

Papeles del Seminario de Investigación educativa. Facultad de Química, UNAM, México, D. F.

¿Qué piensan los estudiantes de química sobre el enlace químico?

Silvia Bello Garcés¹ y Alfredo César Herrera Hernández²

¿Cuál es la “verdad” que queremos mostrar con modelos de átomos y moléculas?

Keenan, 1980

Antecedentes

Durante casi cuatro décadas se han investigado las ideas previas de los estudiantes, que orientan, limitan el aprendizaje y, frecuentemente, sobreviven a la instrucción escolarizada. Se les puede considerar un mecanismo de adaptación al medio (Bello, 2004); por ello, es importante conocerlas en cualquier ámbito del conocimiento y, particularmente, en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la ciencia.

Si bien algunos autores consideran que pueden existir ideas previas relativamente aisladas (Mortimer, 1995), numerosos investigadores piensan lo contrario, es decir, que implican la formación de una red conceptual (o red semántica) o esquema de pensamiento más o menos coherente, pero diferente al esquema conceptual científico.

El esquema de pensamiento alternativo se conoce entre los investigadores educativos como esquema representacional. En opinión de muchos autores, entre ellos Mulford y Robinson (2002), si los estudiantes encuentran información que contradiga sus esquemas representacionales es difícil para ellos aceptarla, porque les parece errónea. En estas condiciones actúan de diversas maneras: la ignoran, la rechazan, no creen en ella, la reinterpretan a la luz de sus propios esquemas representacionales (o modelos mentales); o bien, llegan a aceptarla haciendo sólo pequeños cambios en sus concepciones. Es ocasional que la información que parece anómala sea aceptada y obligue al estudiante a revisar su modelo mental.

Las ideas previas son construcciones que los sujetos elaboran para dar respuesta a su necesidad de interpretar fenómenos naturales, o conceptos científicos, y para brindar explicaciones, descripciones o predicciones. Son construcciones personales, pero a la vez son universales y –como ya se mencionó– muy resistentes al cambio; muchas veces persisten a pesar

de la intervención docente *ex professo*. Las ideas previas implican la construcción de *modelos mentales*. De hecho, algunos autores (Harrison y Treagust, 1996), identifican las ideas previas con los modelos mentales.

Hay mucha controversia en torno a lo que se entiende por modelo mental y a la posibilidad de conocer como tales a dichos modelos. Aquí, junto con Vosniadou, (1994), entenderemos por *modelo mental* “la clase especial de representación mental analógica, generada por el individuo, durante el proceso cognitivo”. Y al igual que Harrison & Treagust (*op. cit.*) usamos el término modelo mental para describir nuestras interpretaciones de las concepciones individuales de los estudiantes, en este caso, sobre el concepto de enlace químico.

Pero, ¿qué entendemos por *modelo*? Reconocemos la amplitud del concepto de modelo y la variedad de los mismos. Sin embargo, aquí no abordaremos una discusión pormenorizada al respecto. Con Chamizo (2006, 2007), reconocemos la existencia de diversos tipos de modelos y, podemos considerar que un modelo es una representación o una analogía con la realidad, pero diferente a ella. Son explicaciones de la realidad y pueden ser instrumentos para cuestionarla.

Según muchos autores (Chamizo, *op. cit.*, Harrison & Treagust, *op. cit.*): “entender la ciencia es entender los modelos que usan los científicos. Hodson (2003), por ejemplo, señala que:

Tan pronto como los científicos intentan explicar la naturaleza macroscópica (por ejemplo, las propiedades físicas y químicas de las sustancias, o el comportamiento químico), inevitablemente recurren al uso de modelos. Los modelos y la modelación son características de la ciencia y, consecuentemente, de la educación científica cuando se pretende tener acceso al pensamiento de los científicos.

En el proceso cognitivo los aprendices generan modelos mentales. Lo que distingue a un modelo científico de uno mental del estudiante es, por un lado, que el primero ha sido sancionado y aceptado por la comunidad científica. Y, por otro lado, son modelos con una amplia potencia explicativa, coherentes, ordenados, bien estructurados, sin contradicciones internas. Los modelos mentales –por su parte– captan la esencia de una situación u objeto, pero pueden ser múltiples para un estado de cosas específico y su potencia explicativa es limitada. Pueden incluir elementos innecesarios, erróneos o contradictorios; pueden ser ordenados, relativamente estructurados y estables, o bien, confusos, desordenados, incompletos e inestables.

Consideramos que se puede acceder a los modelos mentales de los estudiantes a través de sus expresiones orales, escritas o en forma de esquemas elaborados por ellos (Serrano-Gisbert, 1992). También pensamos que es muy importante conocerlos y reflexionar sobre la importancia

que tienen en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la ciencia. Los investigadores de la educación han coincidido en la necesidad de transformarlos en modelos más potentes, más cercanos a las concepciones científicas. A esta transformación se le ha llamado *cambio conceptual*.

En esta investigación se estudian los modelos mentales relacionados con el concepto de enlace químico por su función limitante, condicionante y directriz del aprendizaje. Nos interesa indagar los relacionados con el enlace químico, porque al no considerarlos explícita y adecuadamente durante los procesos educativos escolarizados, se corre el riesgo de que los conceptos aprendidos sean deficientes, incoherentes e, incluso, lleven al rezago escolar.

El concepto de enlace químico, es un concepto fundamental, que permite entender y explicar la materia y sus transformaciones. Puede decirse que los modelos mentales vinculados con este tema, llegan a determinar la concepción global de la Química que debe tener todo profesionista de esta disciplina.

Para muchos investigadores –entre quienes se cuenta L. Pauling (1992), premio Nobel de Química– el concepto de enlace químico es “uno de los grandes triunfos del intelecto humano alcanzados en el siglo XX” –es fundamental en el conocimiento de esta rama de la ciencia; es un concepto estructurante, que permite entender y explicar la materia y sus transformaciones– cuestión medular en la comprensión de la Química. Por su envergadura, además, las concepciones alternativas de los estudiantes vinculadas con este tema han llamado la atención de los investigadores educativos durante las últimas décadas, pero los resultados de la investigación se han visto poco reflejados en los currículos y aulas mexicanos.

Los autores de este trabajo tenemos la convicción de que si se conocen los modelos mentales, se podrán diseñar estrategias de enseñanza idóneas para promover el cambio conceptual o, al menos, un cambio en el perfil conceptual (Mortimer, 1995) de los educandos.

En busca de los mencionados modelos se emprendió un proyecto³ de investigación en alumnos de la Facultad de Química, de la UNAM. El presente trabajo es una parte del mencionado proyecto y para esta etapa se plantearon los siguientes

Objetivos

Investigar los modelos mentales que mantienen alumnos de Química sobre el enlace químico, a lo largo de su carrera.

Conocer la evolución o persistencia de dichos modelos conforme avanzan los alumnos en su plan de estudio.

Metodología

Se seleccionó una muestra de veinticinco estudiantes de la Facultad de Química, que se dividió en dos grupos (Figura 1). El grupo A, se formó con diez estudiantes que eran alumnos de primer semestre y cursaban Química General I⁴. El grupo B, se integró con quince estudiantes que se encontraban en diferentes semestres curriculares de distintas carreras; pero todos son alumnos de alto rendimiento⁵ y cursaron Química Inorgánica⁶ con la misma docente. En su momento, pareció que todos habían alcanzado el cambio conceptual relacionado con el enlace químico.

Con la muestra integrada de esta forma, se buscó –por un lado- conocer los modelos mentales de los estudiantes al llegar a la Facultad (grupo A), e indagar cómo cambian a lo largo del currículo (grupo B). Posteriormente, se hará el seguimiento de los diez estudiantes de primer semestre, para verificar la evolución o persistencia de sus modelos mentales.

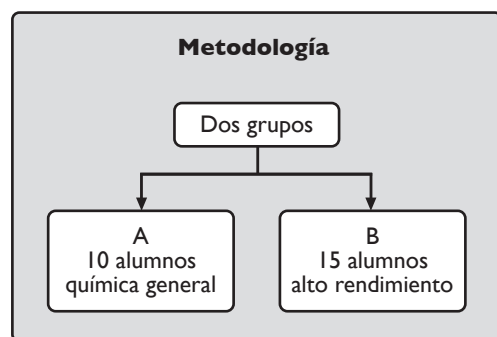


Figura 1. Integración de la muestra para el estudio

Los quince estudiantes que integraron el grupo B de nuestra muestra, tenían diferente grado de avance en sus respectivas carreras. En la Tabla 1, se muestra su distribución curricular, al momento de aplicar los instrumentos.

Se decidió usar como instrumentos para esta investigación una prueba escrita, la construcción de mapas conceptuales y una entrevista semiestructurada. Se elaboró un cuestionario con preguntas de falso y verdadero y se probó con un grupo piloto. Después de modificarlo, quedó integrado con 10 reactivos (Anexo I). Para la elaboración del cuestionario de diagnóstico se tomaron como referencia ideas previas reportadas en una página electrónica (Flores *et al*, 2002) y en conceptos encontrados en libros de texto usados en diversos cursos en la Facultad de Química de la UNAM (García-Cruz, 2004).

Semestre	Número de alumnos
Cuarto	6
Quinto	5
Sexto	4

Tabla 1. Distribución curricular de los 15 estudiantes de alto rendimiento que formaron el grupo B.

A la muestra total, de 25 estudiantes, se le aplicaron los tres instrumentos mencionados para indagar sus modelos mentales. En primer lugar se les pidió la resolución del cuestionario; después se les solicitó la construcción de un mapa conceptual y, finalmente, se realizaron entrevistas individuales, semiestructuradas. Para la realización de éstas, se elaboró una guía (Anexo II) y se seleccionaron los siguientes ejes temáticos:

- Generalidades sobre el enlace químico: naturaleza, atributos y unificación
- Propiedades de los compuestos covalentes
- Polaridad del enlace y
- Geometría molecular.

Es importante mencionar que en la entrevista, los estudiantes representaron gráficamente átomos y enlaces químicos. Asimismo, se analizaron junto con cada uno de los entrevistados sus respuestas a la prueba escrita y sus mapas conceptuales.

Las entrevistas se grabaron, cada uno de los autores las analizó independientemente y después se discutieron, junto con los cuestionarios y los mapas conceptuales.

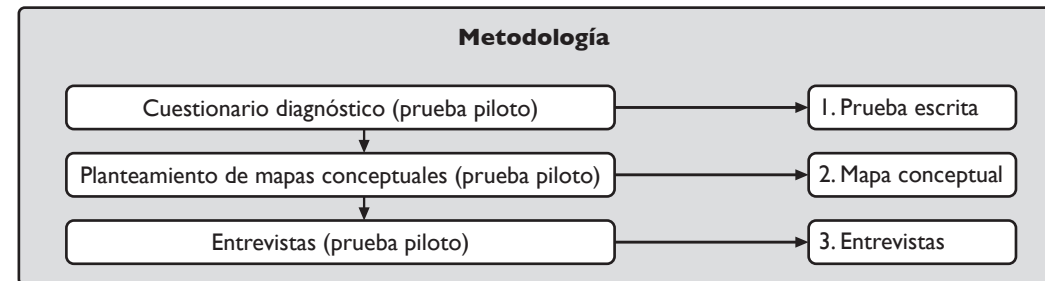


Figura 2. Los tres tipos de instrumentos aplicados en esta investigación

Resultados

Se identificaron dos tipos de resultados: cuantitativos y cualitativos. Los primeros proceden fundamentalmente de la aplicación del cuestionario escrito; mientras que los cualitativos corresponden a la interpretación que se hizo conjuntamente a partir de los tres instrumentos: respuestas al cuestionario escrito, mapas conceptuales y, sobre todo, de las entrevistas semiestructuradas.

Por cuestiones de espacio, en este documento se presentan únicamente los resultados cualitativos y los cuantitativos se pueden ver en otra parte (Herrera-Hernández, 2005). En la Tabla 2 se muestran ejemplos de ideas previas expresadas por los estudiantes y la vinculación que se hizo con los modelos mentales inferidos.

Naturaleza del enlace químico	
Ejemplo de idea previa	Modelo mental
“El enlace químico es un modelo que permite explicar la formación de compuestos a través de las interacciones que existen entre los átomos”	El enlace químico como modelo
(Al preguntar por qué el enlace químico es materia) “Sí es una entidad física, porque el enlace químico está formado por electrones y el electrón tiene masa, por eso es materia”	El enlace químico como materia
“Es una fuerza electromagnética por medio de la cual los electrones interactúan” “Es la energía con que se unen los átomos dentro de las moléculas”	El enlace químico como entidad física ⁷
La unificación del enlace químico	
“No se puede poner una línea tajante entre las modalidades del enlace químico, lo que sí es posible hacer, es dar cierta preferencia a algunos compuestos”	Modelo de enlace unificado
“Las modalidades del enlace químico sí son independientes ya que dependen de la capacidad de combinación entre los átomos”	Modelo de enlaces independientes

Tabla 2. Ejemplos de ideas previas y su vinculación con los modelos mentales

Con la interpretación de las respuestas a los tres instrumentos se infirieron los modelos mentales que se muestran, como ejemplo, en las Tablas 3, 4 y 5. En ellas, se observa que tanto en el grupo A como en el B se hallaron modelos mentales recurrentes. Entre paréntesis se ha señalado la predominancia de los modelos; así, A quiere decir que el modelo sólo se encontró entre los

estudiantes de Química General, mientras que B implica que el modelo no se halló entre alumnos de primer ingreso. $A = B$, significa que no hay diferencia sustantiva entre los estudiantes de primer semestre y los de cuarto, quinto o sexto; mientras que $A > B$, implica que el modelo se presenta predominantemente en los estudiantes de primer semestre, aunque también pueda encontrarse entre los alumnos del grupo B. $A < B$ significa el caso contrario.

Modelos mentales	
Naturaleza del enlace químico	El enlace químico como modelo (B) El enlace químico como materia (e-) ($A=B$) El enlace químico como una entidad física (A)

Tabla 3. Modelos mentales relacionados con la naturaleza del enlace químico

Modelos mentales	
Atributos del enlace químico	Modelo de atributos macroscópicos ($A=B$) Modelo de atributos microscópicos ($A=B$)

Tabla 4. Modelos mentales relacionados con los atributos del enlace químico

Modelos mentales	
La unificación del enlace químico	Modelo de enlace unificado (B) Modelo de enlaces independientes (A)

Tabla 5. Modelos mentales relacionados con la unificación del enlace químico

Modelos mentales	
Naturaleza del enlace covalente	Modelo eléctrico ($B>A$) Modelo de “números mágicos” ($A>B$)

Tabla 6. Modelos mentales relacionados con la naturaleza del enlace covalente

Interpretación de resultados

Se puede observar que en cierto modo se da el cambio conceptual, relacionado con el enlace químico (Tablas 3, 4, 5 y 6); presumiblemente, como consecuencia de la intervención docente en los cursos curriculares.

Sin embargo, también se nota la persistencia de algunos modelos mentales. Esto se hizo más evidente en las entrevistas. Se puede aducir que esto ocurre por falta de estrategias adecuadas para promover el cambio conceptual (Taber, 2001; Kind, 2004) en el proceso docente.

Muchos de los modelos mentales encontrados en la muestra nos llevan a pensar que surgen de las analogías utilizadas por los docentes en el aula. Así, parece confirmarse la propuesta de Vosniadou (*op. cit.*) en el sentido de que los modelos mentales son construcciones sincréticas que elabora el educando al tratar de conciliar sus ideas previas, con los modelos propuestos por el profesor o por el libro de texto. El alumno no tiene la madurez suficiente para discriminar entre modelos “buenos” y “malos” y tolera una multiplicidad de modelos (Taber, 2001). Así, puede tolerar el modelo del profesor y reconciliarlo con el propio.

El lenguaje es otra fuente de modelos mentales. Frente a la misma analogía, la semántica del profesor es diferente a la del estudiante. Hablamos de “nube electrónica” o de “mar de electrones” suponiendo que el significado que damos los docentes a esos términos es el mismo que interpretarán los alumnos; pero eso no necesariamente es así.

Por otro lado, el docente no siempre tiene el cuidado de establecer los límites de aplicación de la analogía frente al fenómeno o concepto estudiado.

La situación se torna aún más compleja cuando se usan analogías antropomórficas para explicar conceptos abstractos -como orbitales, densidades electrónicas, etcétera- que se encuentran lejos del ámbito de experiencia del alumno, o que no tienen análogo macroscópico. Según Kline (1985) “es un mito que puedan desarrollarse modelos concretos para conceptos abstractos”.

En general, puede decirse que los resultados cualitativos obtenidos sugieren que los modelos elaborados por los alumnos de los primeros semestres son más rudimentarios y tienen menor poder explicativo que los de los estudiantes más avanzados. Así, muchos de los modelos mentales que presentan los alumnos de primer semestre (grupo de estudio A), se basan en ideas previas (Tabla 3. “*El enlace químico como entidad física*”. Tabla 5. “*Modelos de enlace independientes entre sí, en vez de unificación del enlace*”). Mientras que gran número de los modelos mentales que presentan los alumnos de cuarto, quinto y sexto semestre (grupo de estudio B), aún muestran -algunos con mayor predominio que otros- el conocimiento que alcanzaron vía el cambio conceptual (Tabla 2. “*No*

se puede poner una línea tajante entre las modalidades del enlace químico, lo que sí es posible hacer, es dar cierta preferencia a algunos compuestos”. Tabla 3. “*El enlace químico como modelo*”). Sin embargo, conforme se avanza en grado escolar, resulta difícil que ese conocimiento perdure si el contexto en el que el alumno se desenvuelve no lo favorece (Carrera IQ).

También debe mencionarse que algunos modelos mentales no cambian significativamente a lo largo del currículo. Por ejemplo, en cuanto a los atributos del enlace (Tabla 4) tanto los alumnos del grupo A, como los del B, confunden compuestos con enlaces y atribuyen características macroscópicas de las sustancias a sus enlaces.

Estos resultados nos llevan a confirmar que el cambio conceptual, es un proceso de larga duración, no lineal y que requiere el reforzamiento frecuente, para evitar la persistencia de las ideas previas.

Conclusiones

- El empleo de tres instrumentos: (cuestionario escrito, mapa conceptual, y entrevista), permitió indagar qué piensan estudiantes de Química (de la Facultad de Química) sobre el enlace químico.
- En relación con el enlace químico, se identifican modelos mentales en los estudiantes que implican la evolución hacia el cambio conceptual. Pero hay otros que persisten a lo largo de una carrera, a pesar de la intervención docente.
- Es necesario que los profesores aborden explícitamente las ideas previas de los estudiantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje.
- Asimismo, debe buscarse el desarrollo de la habilidad de modelación en los estudiantes, a lo largo del currículo, ya que a mayor nivel de esta habilidad, se elaborarán modelos más potentes, más cercanos a los científicos.
- Los docentes debemos ser muy cuidadosos en el uso del lenguaje y definir explícitamente las limitaciones de una metáfora (o analogía) antes de usarla.
- Esta investigación revela la necesidad de desarrollar y aplicar estrategias didácticas que contribuyan a promover el cambio conceptual, a lo largo y ancho de los planes de estudio.

Notas

¹ bello@servidor.unam.mx

² alfh@yahoo.com

³ Proyecto PAPIME EN208203, auspiciado por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la UNAM

⁴ Asignatura del tronco común, pertenece a todos los planes de estudio que ofrece la Facultad de Química, desde 2005.

⁵ Estos alumnos tienen calificaciones altas en las asignaturas que han cursado y, varios de ellos han obtenido diplomas de reconocimiento otorgados por la Facultad, por su alto desempeño académico.

⁶ Asignatura común en todos los planes de estudio de la Facultad de Química, cuyo núcleo temático es el enlace químico.

⁷ A través de las entrevistas se pudo descifrar que, para los estudiantes, fuerza y energía son sinónimos y les otorgan la categoría de entidad física.

Referencias

- BELLO, G. S. (2004). "Ideas previas y cambio conceptual". *Educación Química*, 15(3), 210-217.
- CHAMIZO, G. J. A. (2006). Química dialéctica. Sobre aprendizaje, modelos y realidad. *METL I, Papeles del Seminario de Investigación Educativa*. México Facultad de Química. UNAM. pp. 66-81.
- CHAMIZO, G. J. A. (2007). "Teaching modern Chemistry through recurrent historical teaching models". *Science & Education*, 16, 197-216.
- FLORES, C. F. et al. (2002). URL <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048>. Última consulta 18 de septiembre de 2008.
- GARCÍA-CRUZ, A. (2004). *El curso de las ideas previas en el aprendizaje del enlace químico a nivel licenciatura*. Tesis. Facultad de Química. UNAM. México.
- HARRISON, A. G. & Treagust, D. F. (1996). Secondary students mental models of atoms and molecules: implications for teaching Chemistry. *Science Education*, 80(5), 509-534.
- HERRERA-HERNÁNDEZ, A. C. (2005). *Modelos mentales en los estudiantes sobre la modalidad covalente del enlace y sus repercusiones académicas*. Facultad de Química. UNAM. México.
- HODSON, D. (2003). "Time for action: science education for an alternative future". *International Journal of Science Education*, 25, 645-670.
- KIND, V. (2004). *Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de Química*, México: Santillana-Facultad de Química, UNAM.
- KLINE, M. (1985). *Mathematics and search for knowledge*. New York Oxford University Press. En Harrison & Treagust, *op. cit.*
- MORTIMER, E. (1995). "Conceptual change or conceptual profile change?" *Science & Education*, 4, 267 – 285.

MULFORD, D. R. & Robinson, W. R. (2002). "An inventory for alternate conceptions among first semester General Chemistry students". *Journal of Chemical Education*, 79(6), 739-744.

PAULING, L. (1992). The Nature of the Chemical Bond-1992, *Journal of Chemical Education*, 69(6) 519-521.

SERRANO-GISBERT, T. (1992). "Una metodología cualitativa para el estudio del desarrollo conceptual en el aprendizaje de las ciencias. Análisis con redes sistémicas". *Revista de Investigación Educativa*, 20, 37-69.

TABER, K. (2001). "Shifting sands: A Case Study of Conceptual Development as Competition Between Alternative Conceptions", *International Journal of Science Education*, 23 (7), 731 – 753.

VOSNIADOU, S. (1994) "Capturing and modeling the process of conceptual change". *Learning and Instruction*, 4, 45-69. En: Bello, S. (2007). Cambio conceptual. ¿Una o varias teorías?, 37-48. México: Facultad de Química-CCADET, UNAM.

ANEXO I

Cuestionario de Diagnóstico

Nombre _____

Semestre _____

Carrera _____

Lee cuidadosamente cada una de las siguientes oraciones. Escribe sobre la línea una V si la oración es verdadera; F si la oración es falsa u O si no recuerdas o no sabes.

1. ___ El enlace químico es una entidad física (es materia). (Generalidades del enlace).
2. ___ Hay una frontera que permite separar claramente las modalidades de enlace en covalente, iónico y metálico. (Generalidades del enlace).
3. ___ En un enlace covalente cada uno de los átomos cede un par de electrones para la formación del enlace. (Generalidades de la modalidad covalente).
4. ___ El carbono, el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno y el azufre son los únicos elementos que pueden formar enlaces covalentes. (Generalidades de la m. c. e.).

5. ___ Los compuestos covalentes no pueden formar sólidos cristalinos, pero sí los podemos encontrar como gases y líquidos. (Propiedades de los compuestos covalentes).
6. ___ Si un compuesto no se disuelve en agua y no conduce la corriente eléctrica, entonces es un compuesto covalente. (Propiedades de los compuestos covalentes).
7. ___ Los enlaces covalentes se rompen cuando una sustancia cambia de estado. (Propiedades de los compuestos covalentes).
8. ___ La polaridad de una molécula depende únicamente de la diferencia de electronegatividad entre los átomos que forman cada enlace en la molécula. (Polaridad).
9. ___ Las moléculas no simétricas con enlaces polares son polares. (*Polaridad*).
10. ___ La forma de una molécula es el resultado de la repulsión de todos los pares de electrones libres y enlazantes. (Geometría molecular).

ANEXO II

Guía para la entrevista

1. ¿Qué es para ti el concepto de enlace químico?
2. ¿Crees que el concepto de enlace químico sea importante para tu formación?
3. ¿Qué modalidades de enlace químico conoces?
4. Esas modalidades, ¿son independientes entre sí?
5. ¿Qué es el enlace covalente?
6. ¿Qué propiedades presentan los compuestos covalentes?
7. ¿Cómo puedes saber si una molécula es polar?
8. ¿Cómo puedes saber la geometría de una molécula?
9. Representa/dibuja un átomo.
10. En esa representación que hiciste, esquematiza cómo sería un enlace covalente.

Modelos históricos recurrentes. El modelo de Lewis-Langmuir-Sidgwick

José Antonio Chamizo Guerrero

Introducción

Toda nuestra vida, todo nuestro pensamiento está organizado sobre el eje del tiempo. Por otro lado a diferencia de las sociedades primitivas que se encuentran inmersas en un tiempo sagrado en las sociedades contemporáneas estamos en el tiempo lineal. Por ello nosotros y todo lo que conocemos y aprendemos se sitúa en el tiempo. Y esto, que es tan evidente y tan manifiesto en otras disciplinas, prácticamente nunca lo discutimos en los salones de clase.

Ante el brutal crecimiento de la información química evidenciada sobre todo por el filósofo J. Schummer (2006) ya he indicado (2007) que nos guste o no nos guste, lo sepamos o no; los profesores de química *somos en realidad profesores de historia de la química*. Mas aún y como lo ha señalado Morin (1999) los siglos anteriores siempre creyeron en un futuro, fuera éste repetitivo o progresivo, pero el siglo XX descubrió la pérdida del futuro, es decir su impredecibilidad. El futuro se llama incertidumbre. Por todo ello nos debemos a nosotros mismos y a nuestros alumnos una más profunda reflexión sobre lo que en realidad estamos enseñando y para qué lo estamos haciendo.

En el presente trabajo se presenta una propuesta metodológica sobre esta reflexión relacionada con la enseñanza de la estructura atómica dirigida a estudiantes de química general... seguramente una nueva química general.

Antecedentes

Tan pronto como los científicos procuran explicar la naturaleza macroscópica (p.ej. características físicas y químicas de las sustancias, o su comportamiento químico) recurren inevitable al uso de modelos. Así, los modelos y el modelaje son características dominantes de la ciencia y por lo tanto de la enseñanza de la ciencia cuando hay una intención de hacer comprensible el quehacer científico.

R.K. Coll e I. Taylor (2005)

La analogía del 'estudiante como científico' centrada en el método experimental como un proceso de justificación del conocimiento ha sido considerada apropiada por más de un siglo, pero hoy es a todas luces insuficiente. La presente reflexión entre los expertos acerca de la ciencia y la educación en ciencias desde la perspectiva de la 'nueva

historia y filosofía de la ciencia' (Matthews 1994; Wandersee, 2002) y de las ciencias cognitivas cuestiona severamente esta analogía y sugiere nuevos campos de investigación en la enseñanza de las ciencias. De acuerdo con Izquierdo (2003):

Hoy contamos con un nuevo paradigma acerca de la ciencia que puede ser útil para la enseñanza de la ciencia, en el que se establece una conexión gradual entre los modelos teóricos propios de la ciencia y las representaciones mentales que los estudiantes tienen sobre los fenómenos naturales... La ciencia escolar debe permitir a los alumnos explicarse adecuadamente algunos de los fenómenos naturales que requieren para entender la sociedad en la que viven.

Por otro lado hay que reconocer que la relación entre pasado y presente es semejante a la que hay entre la memoria y el olvido. La memoria, en su caracterización más simple, es la presencia –desde luego presente y presentemente interpretada- del pasado. Sin embargo el pasado difícilmente lo es del individuo aislado, sino más bien lo es del individuo en un entorno particular, del individuo en contexto.

Así la memoria aparece como la lenta acumulación colectiva y espontánea de todo lo que un determinado grupo ha podido vivir en común. Desde otro punto de vista, un grupo lo es, en la medida que comparte una determinada cultura, en este caso la cultura química y que es la forma en que viven los individuos al interior de las diferentes sociedades humanas (en nuestro caso, por ejemplo en los laboratorios escolares) y a través de ella, y sólo de ella es posible descifrar el pasado.

El historiador H. Kragh (1987) reconoce al menos tres posturas en el quehacer histórico, tres diferentes estrategias historiográficas: anacrónica, diacrónica y recurrente.

En la estrategia anacrónica el pasado se estudia y se valida de manera "absoluta" a la luz del presente. Esta postura etiquetada con el nombre de interpretación "whig" ha sido ampliamente utilizada y también muy cuestionada. Por otro lado la estrategia diacrónica consiste en estudiar la ciencia del pasado de acuerdo a las condiciones que existían realmente en ese pasado. Sin embargo el mismo Kragh indica:

La historiografía diacrónica no puede ser más que un ideal. El historiador no puede liberarse de su tiempo ni evitar completamente el empleo de patrones contemporáneos.

Más recientemente Tosh (2003) argumenta que la historia de la ciencia es inherentemente "centrada en el presente" asunto que de otra manera propuso hace años el filósofo francés G. Bachelard (1972) cuando introdujo el término "historia recurrente de la ciencia" como aquella que es continuamente contada a la luz del presente.

El objetivo de la historia recurrente no consiste en encontrar los conceptos que actualmente usamos en algún punto del pasado, sino el revelar el camino por el cual esos conceptos emergieron a partir de otros conceptos en una secuencia de correcciones y rectificaciones. Cuando un nuevo concepto "aparece" introduce una reorganización de la disciplina en la cual se incorpora y una evaluación del conocimiento previo con que esta contaba. Desde este punto de vista la ciencia se compromete periódicamente a evaluarse a sí misma, a reconocerse en su pasado. Esta historia recurrente es deliberadamente anacrónica, pues decide si la ciencia anterior es válida, o no, a la luz de los conocimientos actuales.

La historia recurrente distingue entre "historia sancionada" a la que considera el doble de la historia tradicional y "obsoleta" que se dedica simplemente a describir los acontecimientos del pasado.

Según Fichant (1971) la historia obsoleta es "la historia de los pensamientos que ya no pueden pensarse en la racionalidad del presente", mientras que la historia sancionada es "la historia de los pensamientos que siguen siendo actuales o que podrían hacerse actuales si se les evalúa según la ciencia de la actualidad"

La reconstrucción racional a la que apela la historia recurrente es diferente de la propuesta por Lakatos (1978) en la cual se tiene como referencia absoluta un standard extrahistórico de racionalidad. En este sentido es más cercana a la propuesta de Toulmin (1972) y su propuesta de racionalidad moderada:

Las cuestiones de racionalidad conciernen precisamente no a las doctrinas intelectuales particulares que un hombre -o un grupo profesional- adopta en cualquier momento dado, sino a las condiciones y la manera en que está dispuesto a criticar y modificar esas doctrinas a medida que pasa el tiempo. La racionalidad de una ciencia no está encarnada en los sistemas teóricos corrientes en ella en momentos determinados, sino en sus procedimientos para llevar a cabo descubrimientos y cambios intelectuales a través del tiempo.

Así se pueden construir modelos históricos recurrentes, aquellos que utilizando propuestas del pasado son capaces de explicar hechos del presente y que por ello puedan utilizarse para el aprendizaje de la química. A continuación se ejemplifica uno de ellos.

El modelo atómico de Lewis-Langmuir-Sidgwick

El problema de la estructura de los átomos ha sido estudiado principalmente por los físicos, quienes consideran de manera muy pobre las propiedades químicas, las que en última instancia deben ser explicadas por una teoría de la estructura atómica. La gran cantidad de conocimientos que sobre las propiedades químicas se tiene y las relaciones como las que resume la tabla periódica deben emplearse como un mayor fundamento para la estructura atómica que los relativamente escasos datos experimentales obtenidos únicamente con ideas físicas.

I. Langmuir (1919)

Con este párrafo el químico norteamericano, ganador en 1932 del premio Nobel por sus investigaciones sobre fenómenos de superficie, inicia su artículo sobre el acomodo de los electrones en los átomos y las moléculas y da una clara idea de los diferentes puntos de vista con que los químicos y los físicos abordaron la estructura atómica a principios del siglo XX. Ya en 1916, el también norteamericano G.N. Lewis Figura 1 sugirió (1916) que para que los átomos adquirieran al combinarse la estructura estable de los gases nobles era factible compartir un par o más de electrones entre dos átomos. Lewis fue educado en su casa mientras su familia vivía en Massachussets y Nebraska hasta que cumplió los catorce años. Su posterior y más convencional educación fue en Harvard (donde obtuvo su doctorado) y posteriormente en Alemania donde trabajo con Nerst y Ostwald. Por otro lado Lagmuir, investigador de la General Electric, sugeriría el nombre de covalencia para esta interacción. Lewis supuso que los electrones en los átomos están normalmente en posiciones estáticas, en los vértices de un cubo, por lo cual tuvo que negar la validez de la ley de Coulomb. Varias evidencias químicas apoyaban esta suposición, así como los resultados de las primeras estructuras cristalinas determinadas con rayos X, donde los átomos mostraban arreglos en poliedros regulares o estructuras muy simétricas. Los postulados que constituyen el modelo atómico cúbico de Lewis se presentan en la Tabla 1, así como algunas de sus representaciones Figura 2.



Figura 1. Gilbert Newton Lewis utilizando una regla de cálculo en su despacho en Berkeley.

Langmuir, (Figura 3) extiende el modelo de Lewis y considera elementos con más electrones los cuales ocupan pequeñas celdas dentro de capas esféricas concéntricas, dentro de las cuales podrían rotar, oscilar, o estar fijos en alguna posición particular. Las capas son de igual grosor; por lo que sus radios están en la relación 1:2:3:4 y sus áreas como 1:2²:3²:4², o sea, 1:4:9:16 es decir el doble de estos números (2,8,18,32) corresponde exactamente a la periodicidad en el número atómico de los gases nobles (Figura 4). Langmuir diseñó una tabla periódica donde muestra cómo los electrones van ocupando las diferentes capas de su modelo y en donde tienen cabida, en forma natural, los elementos de transición (Cruz, 2002).

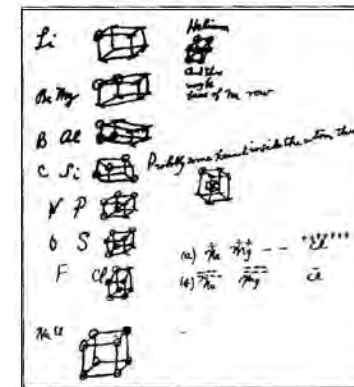


Figura 2. Memorandum de Lewis en 1902 en el que se representan sus ideas sobre el átomo cúbico.

1. En cada átomo existe una parte esencial que permanece inalterada en todos los cambios químicos, llamada kernel. En esta porción del átomo se encuentran el núcleo y los electrones más internos (electrones del kernel), los que no alcanzan a neutralizar la carga del primero. Por ello, el kernel tiene una carga neta positiva que corresponde al número de la familia a la que pertenece el elemento en la tabla periódica.
2. Adicionalmente al kernel, el átomo posee una capa externa, la cual, en el caso de un átomo neutro, contiene la cantidad de electrones necesarios para neutralizar la carga positiva del kernel. Sin embargo, durante un cambio químico, los electrones en esta capa pueden variar entre cero y ocho.
3. En una combinación química, el átomo tiende a poseer un número par de electrones en la capa externa (de valencia) y, particularmente, ocho de ellos, los cuales se arreglan simétricamente en los vértices de un cubo.
4. Dos capas de valencia de diferentes átomos son mutuamente interpenetrables.
5. Los electrones pueden moverse con cierta facilidad de una posición a otra en la capa de valencia. No obstante, existen ciertas restricciones para este movimiento, determinadas por la naturaleza del átomo mismo, así como por la de aquellos otros combinados con él.
6. Las fuerzas eléctricas entre las partículas que están muy cerca (como en el átomo) no obedecen la ley de Coulomb.

Tabla 1. Postulados del modelo atómico cúbico de Lewis.

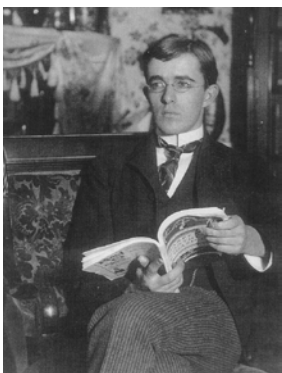


Figura 3. Irving Langmuir en su casa a principios del siglo XX.

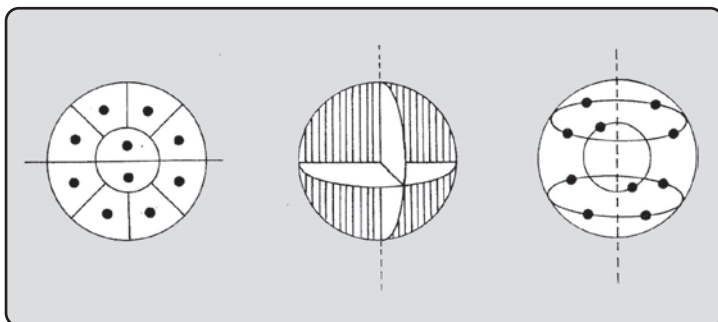


Figura 4. El modelo atómico de capas y celdas de Langmuir para el neón. A la izquierda se muestra su representación bidimensional; en el centro la ocho celdas de la segunda capa y a la izquierda la ubicación de todos sus electrones.

La aceptación del modelo cúbico fue prácticamente inmediata, en buena medida por su capacidad de explicar muchos de los resultados de la entonces naciente fisicoquímica orgánica. Hay que hacer notar que este modelo atómico químico era sin duda superior al modelo atómico físico desarrollado por Bohr en la interpretación de los hechos químicos, mientras que el segundo era más apropiado para explicar la espectroscopia atómica. La aceptación del modelo atómico de Lewis y Langmuir puede reconocerse por la cantidad de artículos publicados sobre el mismo desde el momento en que fue propuesto, Tabla 2.

Año	Inglaterra	E.U.	Alemania	Otros	Total
1918	-	-	2	2	4
1919	-	5	2	-	7
1920	9	4	4	-	17
1921	3	7	1	1	12
1922	10	8	1	1	20
1923	29	2	3	3	37
1924	10	5	-	1	16
1925	1	4	-	1	6
1926	-	1	2	1	4
1927	-	1	-	1	2

Tabla 2. Distribución de los artículos publicados acerca del modelo de Lewis-Langmuir entre 1918 y 1927 (Kohler, 1975).

Sobre lo mismo Bunnet (1996) indica:

La fundación de la fisicoquímica orgánica, como fue desarrollada bajo la dirección de Ingold, reconocía la propuesta de G.N.Lewis, en 1916, que un enlace covalente consiste en un par de electrones compartidos entre los átomos unidos por ese enlace. La aceptación de sus ideas fue lenta, sin duda en parte, porque Berkeley (en donde se encontraba la Universidad en la que Lewis era profesor) se encontraba entonces a dos semanas de distancia de Inglaterra, en donde se encontraban Ingold y los otros fundadores de esta subdisciplina. En la importante reunión de la sociedad Faraday, en 1923, Lewis convenció a muchos de sus participantes de la validez de sus conceptos ya fuera a través de su propia conferencia o quizás también a través de discusiones informales. Su libro sobre la reacción química (1923) dió la dirección y la inspiración a todas las personas interesadas seriamente en los mecanismos y la reactividad orgánicas.

Pocos años después el químico inglés N.V. Sidgwick (1927) formaliza el trabajo de Langmuir en la denominada regla de los 18 electrones, en la que los compuestos de los metales de transición (bloque d) adquieren una configuración electrónica con esta cantidad de electrones, a semejanza de los ocho requeridos por Lewis en los compuestos del bloque p. De acuerdo con él, de la misma manera que el número en un átomo aislado es el número atómico, en un átomo combinado (el cual obviamente varía dependiendo del estado de combinación) se llamará Número Atómico Efectivo (NAE). Sidgwick apela al conocimiento químico empírico en la construcción de su modelo (Sidgwick, 1929):

Sabemos que los electrones compartidos participan de alguna manera en la configuración electrónica de los átomos enlazados, pero no podemos calcular sus orbitas o su relación con las orbitas de los electrones no compartidos. Las dificultades matemáticas a este problema son tan grandes que parece poco probable que los físicos puedan avanzar significativamente, a menos que los químicos preparen el terreno, examinando la gran cantidad de evidencia química que han reunido, descubriendo empíricamente el arreglo de los electrones compartidos y no compartidos que hay en las moléculas estables.

Como se ha indicado la contribución de Sidgwick fue marginal, pero sin duda importante (Laidler, 1998):

Sidgwick no realizó una aportación altamente original, sino que él siguió el trabajo de Lewis y de Langmuir; su contribución importante era utilizarlo para explicar el comportamiento químico. Su

conocimiento detallado de los hechos de la química lo puso en una posición única para aplicar las teorías electrónicas a una amplia gama de compuestos químicos. Su trabajo le llevo a escribir el libro *La teoría electrónica de la valencia*, que apareció en 1927, cuando tenía 54 años de edad. El libro pronto fue reconocido para ser una obra científica clásica. En él Sidgwick hábil y lucidamente dio una fresca unidad al conjunto de la química, que para la mayor parte de los estudiantes había sido presentada hasta entonces como una enorme colección de hechos aislados.

Como ya se dijo, la aceptación del modelo atómico cúbico fue inmediata ya que además de lo dicho sobre la fisicoquímica orgánica, era capaz de “explicar el concepto de valencia” (Chamizo, 2004) como lo atestigua su incorporación “light” en prácticamente la mayoría de los libros de texto que tratan sobre el tema, sin embargo su extensión a los 18 electrones permaneció olvidada hasta el resurgimiento de la química organometálica en la década de los 70 (Tolman, 1972).

De manera muy sencilla dicha regla, que puede incorporarse como un postulado más en la Tabla 1 (evidentemente cambiando el nombre de la misma) dice (Tolman, 1972; Purcell, 1977):

Los compuestos organometálicos estables de los elementos del bloque d tienen un total de 18 electrones alrededor del átomo del metal de transición. Las reacciones organometálicas, incluyendo las catalíticas, proceden por pasos que involucran intermediarios con 16 o 18 electrones de valencia.

La regla de los 18 electrones en química organometálica ha sido y es de suma utilidad una vez que de manera muy sencilla permite “construir” moléculas no solo con un átomo metálico sino que también

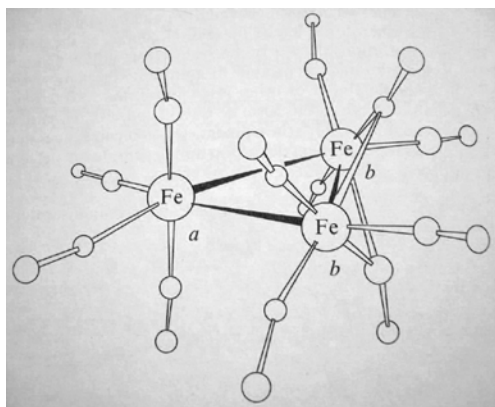


Figura 4. Representación del cúmulo metálico $\text{Fe}_3(\text{CO})_{12}$.

con varios de ellos, es decir cúmulos metálicos. Figura 5. Tolman fue contundente sobre el valor de esta regla (que aquí incorporamos en el modelo de Lewis-Langmuir-Sidgwick) al indicar (1972):

La regla de los 16 y 18 electrones en química organometálica es consistente con tanta evidencia experimental, incluyendo estudios detallados de mecanismos de reacción, que quién proponga una excepción a la misma deberá demostrarlo fuera de toda duda.

Una buena parte de la reactividad de los compuestos organometálicos puede explicarse con este modelo a través de la clasificación de las reacciones en cinco tipos diferentes: acoplamiento oxidante, eliminación reductora, inserción y disociación de ácidos y bases de Lewis (Tabla 3) que a su vez puede extenderse para estudiar procesos catalíticos, como se muestra en la Figura 5 donde en todos los casos el número de electrones del átomo metálico (Co) es 16 o 18.

Reacción	ΔNEV	EO	ΔN	Ejemplo	Reacción inversa	ΔNEV	EO	ΔN
Disociación de un ligando ácido de Lewis	0	-2	-1	$\text{HCo}(\text{CO})_4 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{Co}(\text{CO})_4^-$	Asociación de un ácido de Lewis	0	+2	+1
Disociación de bases de Lewis	-2	0	-1	$\text{Cp}_2\text{WH}_2 \cdot \text{BF}_3 \rightleftharpoons \text{BF}_3 + \text{Cp}_2\text{WH}_2$	Asociación de bases de Lewis	+2	0	+1
Eliminación reductora	-2	-2	-2	$\text{H}_2\text{IrCl}(\text{CO})\text{L}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2 + \text{IrCl}(\text{CO})\text{L}_2$	Adición oxidante	+2	+2	+2
Inserción	-2	0	-1	$\text{MeMn}(\text{CO})_5 \rightleftharpoons \text{Me}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{Mn}(\text{CO})_4$	Desinserción	+2	0	+1
Acoplamiento oxidante	-2	+2	0	$\text{Fe}(\text{CO})_3 \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{CO})_3$ (ciclo)	Desacoplamiento reductor	+2	-2	0

^a NEV = número de electrones de valencia; EO = estado de oxidación y N = índice de coordinación.

Tabla 3. Ejemplos de aplicación del modelo Lewis-Langmuir-Sidgwick o del número atómico efectivo en la explicación de reacciones organometálicas (Purcell, 1977).

Como lo ha indicado recientemente Mingos (1998):

La regla del NAE (aquí diríamos el modelo del NAE) es de enorme importante en mucha de la química de los metales de transición y especialmente en aquellos compuestos con ligantes tipo σ y con enlaces metal-metal. Los compuestos son termodinámicamente estables porque sus orbitales σ de enlace están completamente ocupados. Además la gran diferencia de energía que resulta entre el HOMO y el LUMO hace a estos compuestos también cinéticamente inertes.

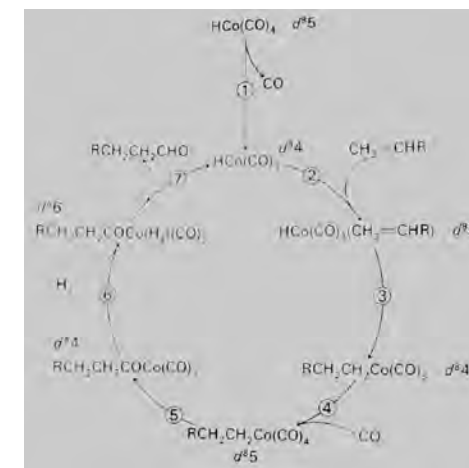


Figura 5. Proceso catalítico para la hidroformilación de una olefina (Purcell, 1977).

Con todo lo anterior se puede resumir la aplicación (y las limitaciones, asunto muy importante que permite reconocer la necesidad de utilizar otro modelo de acuerdo a los requerimientos de la propia enseñanza) del modelo de Lewis-Langmuir-Sidgwick o del número atómico efectivo con las siguientes reglas (Tabla 4):

NAE	Explica	Excepciones y comentarios
8	Estructura y reactividad de la mayoría de las moléculas orgánicas (y desde luego "bioquímicas")	En todos los casos, las moléculas pueden ser descritas a través de las estructuras de Lewis
8	Estructura y reactividad de algunas moléculas inorgánicas	Hay muchas excepciones! generalmente en compuestos con elementos del bloque s y los primeros y más pesados del bloque p
18	Estructura y reactividad de muchas moléculas organometálicas	Funciona bien sobre todo hacia la parte derecha del bloque d
18		No funciona en compuestos de coordinación con metales de los bloques d y f

Tabla 4. Modelo atómico de Lewis-Langmuir-Sidgwick o del NAE.

La aplicación de este modelo aparece muy fortalecida cuando permite además incorporar compuestos mixtos entre elementos provenientes del bloque p (que cumplen el octeto) con elementos del bloque d (que cumplen con la regla de los 18 electrones), a través de lo que se ha denominado "grupos electrónicamente equivalentes" (Ellis, 1976) como es el caso de la siguiente secuencia (en donde tanto el As como el fragmento $\text{Co}(\text{CO})_3$ requieren tres electrones para completar 8 o 18 electrones alrededor del átomo central):



Por todo lo anterior si queremos utilizar explicaciones que integren la mayor cantidad de información química aparece como necesario reconsiderar la enseñanza de los modelos atómicos sobre todo a nivel de bachillerato y de química general. Purser (1999) ha indicado:

Debido a la enorme capacidad predictiva de las estructuras de Lewis, hay que tener mucho cuidado al decidir cómo enseñarlas en un curso de química general. Las soluciones derivadas de utilizar cálculos mecánico-cuánticos para contestar a preguntas sobre la estructura electrónica requieren un nivel de sofisticación generalmente más allá de la química general y se reservan a menudo para los cursos de fisicoquímica. Las estructuras de Lewis, por el contrario, son simples de dibujar, y no hay escasez de métodos para obtener las mejores...por ello la decisión del si enseñar los modelos mecánico-cuánticos en química general se debe basar en las metas del curso y el nivel de la comprensión esperado de los estudiantes.

Conclusiones

Necesitamos establecer una más sutil y menos absolutista manera de entender como se crea el conocimiento. Nuestro conocimiento del mundo y del lenguaje con el cual lo describimos no está simplemente en nuestras propias cabezas, ni es una característica dada del mundo en el cual estamos viviendo. Necesita ser desarrollado a través del proceso de preguntas y respuestas en el salón de clase, entre profesores y alumnos que conjuntamente trabajan para crear significados. La pregunta histórica no debe ser cortada de la experiencia personal, ni tampoco basarse únicamente en la misma. Es fundamentalmente una manera de relacionar lo interno, lo personal con lo externo, lo público.
Husbands C. (2003)

Justi (2000) ha indicado la importancia de utilizar modelos históricos en la enseñanza de la ciencia, eliminando los modelos híbridos. La presente propuesta acepta su sugerencia pero difiere de la de ella en que se soporta, para su empleo en el salón de clases, en las ideas de recurrencia y ciencia escolar (Izquierdo 1999). Así la incorporación de este modelo histórico recurrente (Lewis-Langmuir-Sidgwick o NAE) permite abordar de manera sistemática un número importante de información química estructural (tanto orgánica como inorgánica), y de reactividad química. Más aún, al reconocer sus limitaciones (Mingos, 1998) se esta en la posibilidad de incorporar otros modelos que encajen de mejor manera (Giere, 1997) con los datos empíricos provenientes de la investigación química más reciente.

Referencias

- BACHELARD, G., (1972), *El compromiso racionalista*, Buenos Aires, Siglo XXI.
- BUNNET, J. F. (1996), 'Physical Organic Terminology, after Ingold' *Bulletin for the History of Chemistry*, 19, 33-43
- CRUZ D., Chamizo J.A., Garritz A., (2002), *Estructura atómica: un enfoque químico*, México, Pearson.
- CHAMIZO J.A. (2007), 'Teaching modern chemistry through 'recurrent historical teaching models', *Science&Education*, 16, 197-216
- CHAMIZO J.A., Gutierrez M.Y. (2004), "Conceptos fundamentales de química. I Valencia", *Educación Química*, 15, 359-365.
- COLL R.K. and Taylor I. (2005), 'The role of models/and analogies in science education: implications from research' *International Journal of Science Education*, 27, 183-198.
- ELLIS J. (1976), "The teaching of organometallic chemistry to undergraduates" *J.Chem.Ed*, 53, 1-6
- FICHANT M., Pecheux M., (1971), *Sobre la historia de las ciencias*, Buenos Aires, Siglo XXI.
- GIERE R. N. (1997), *Understanding Scientific Reasoning*, Forth Worth, Harcourt Brace.
- HUSBANDS C. (2003), *What is history teaching? Language, ideas and meaning in learning about the past*, Buckingham, Open University Press.
- IZQUIERDO M., Sanmartí N., Espinet M., García M.P., Pujol R.M. (1999) "Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar" *Enseñanza de las ciencias*, número extraordinario, junio 79-92
- IZQUIERDO M., Aduriz A. (2003), "Epistemological Foundations of School Science", *Science& Education*, 12, 27-43
- JUSTI R., (2000), "Teaching with Historical Models" in Gilbert J.K. and Boutler C.J. *Developing Models in Science Education*, Dordrecht, Kluwer.
- KOHLER R. (1975), 'The Lewis –Langmuir theory of valence and the chemical community 1920-1928' *Hist.Stu.Phys.Sci*, 7, 431-442.
- KRAGH H. (1987), *An Introduction to the Historiography of Science*, Cambridge, Cambridge University Press.
- LAIDLER K.J. (1998), 'Contrast in Chemical Style: Sidgwick and Eyring', *Bulletin of the History of Chemistry* 22, 1-9.
- LAKATOS I. (1978), *Mathematics, Science and Epistemology: Philosophical papers 2* J.Worral and G. Currie, Cambridge, Cambridge University Press
- LANGMUIR I. (1919), 'The arrangement of electrons in atoms and molecules', *Journal of the American Chemical Society*, 41, 868
- LEWIS G.N., (1916), 'The Atom and the Molecule', *Journal of the American Chemical Society* 38, 762-786
- MATTHEEUS M.R. (1994), *Science teaching: the role of history and philosophy of science*, New York, Routledge.
- MINGOS D.M.P. (1998), *Essential trends in Inorganic Chemistry*, Oxford, Oxford University Press.
- MORIN E. (1999), *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro* Barcelona, Paidós.
- PURCELL K.F., Kotz J.C. (1977), *Inorganic Chemistry*, Philadelphia, Saunders.

- PURSER G. (1999), 'Lewis Structures Are Models for Predicting Molecular Structure, Not Electronic Structure', *J. Chem. Ed.*, 76, 1013-1017
- SIDGWICK N.Y. (1927), *The Electronic Theory of Valence*, Oxford, Oxford University Press.
- SCHUMMER J. (2006), The philosophy of chemistry. From infancy toward maturity, in Baird et al (eds) *Philosophy of chemistry*, Dordrecht, Springer.
- TILES M. (1984), *Bachelard: Science and Objectivity*, Cambridge, Cambridge University Press.
- TOLMAN C.A. (1972), "The sixteen and eighteen electron rule in catalysis" *Chem.Soc.Rev* 1, 337-351
- TOSH N., (2003), Anachronism and retrospective explanation: in defence of a present-centred history of science, *Stud.Hist. Phil.Sci*, 34, 647-659
- TOULMIN S. (1972), *Human Understanding*, Princeton, Princeton University Press.
- WANDERSEE H. and Grifard P.B. (2002), 'The history of chemistry: potential and actual contributions to chemical education' in Gilbert et al (eds) *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, Dordrecht, Kluwer.

La didáctica del equilibrio químico en el bachillerato

Glinda Irazoque Palazuelos y Ma. Patricia Huerta Ruiz

Introducción

La enseñanza del concepto equilibrio químico implica un gran desafío tanto en la educación media superior como en la universitaria. No hay duda de la importancia y necesidad de su aprendizaje; con él se completa el estudio de la reacción química y es fundamental para entender fenómenos de la vida cotidiana y equilibrios importantes que se llevan a cabo en la naturaleza; la regulación del pH sanguíneo, la formación de la capa de ozono, la adaptación al mal de altura y la formación de bancos coralinos, son algunos ejemplos.

Sin embargo, no por ser importante es fácil de entender; el equilibrio químico está muy relacionado con conceptos de difícil comprensión; discontinuidad de la materia, concentración, reacción química, estequiometría y cinética química (Pozo, 1991) son algunos de ellos. Además, su aprendizaje exige el manejo de conceptos nuevos y abstractos como son los de reversibilidad y equilibrio dinámico. Aunado a lo anterior, la madurez de los alumnos juega como siempre un papel importante, Shayer y Adey (1981) sostienen que un alumno que no ha alcanzado un nivel de pensamiento formal avanzado es incapaz de entender que el equilibrio químico es un proceso dinámico: dos procesos simultáneos con sentidos opuestos.

Como consecuencia, las concepciones alternativas que manifiestan los alumnos y alumnas relativas al equilibrio químico, tienen dos orígenes, las que se heredan de la enseñanza de los conceptos antecedentes y las que se derivan de la instrucción del concepto mismo. Por ejemplo, la forma en que habitualmente se enseña el concepto de reacción química, genera en los estudiantes la imagen de que toda reacción química se lleva a cabo solo en una dirección, siempre procede hasta completarse y se manifiesta a través de cambios macroscópicos. Estas concepciones alternativas entorpecen la construcción de este concepto.

Diversos estudios muestran que en la enseñanza del equilibrio químico, el énfasis en la resolución de problemas es puesto en aspectos cuantitativos del aprendizaje a expensas de razonamientos cualitativos. También se observa que la mayoría de los problemas sobre equilibrio químico que presentan gran parte de los libros de texto, son demasiado fáciles para expertos o demasiado complejos para novatos en términos de requisitos matemáticos; estos pueden

resolverse por la aplicación directa de una fórmula o ecuación, en una o dos etapas y solicitan respuestas numéricas sin requerir el análisis y la justificación de los resultados. El problema radica en que muchos docentes realizan una planificación a partir de la utilización acrítica de los libros de texto como única fuente de información (Camacho y Good, 1989).

Por otro lado, en virtud de que el equilibrio químico no tiene referentes cotidianos se suelen emplear analogías que generalmente se basan en sistemas mecánicos o hidráulicos, fomentando así la idea de un equilibrio compartimentado y estático (Johnstone, MacDonald y Webb, 1977). Los docentes, al igual que los libros de texto que utilizan, suelen recurrir en las clases a ejemplos de equilibrio mecánico para introducir el tema de equilibrio químico. Los estudiantes reducen el concepto de equilibrio químico al establecimiento de una igualdad o asociación de los términos “equilibrio” e “inmovilidad”. Para superar este obstáculo e introducir la naturaleza dinámica del concepto equilibrio, el estudiante necesariamente debe comprender que hay dos velocidades de reacción involucradas de la misma magnitud pero de sentido contrario (Van der Borgh y Mabile, 1989).

En la enseñanza de este concepto también se generan dificultades por el uso inadecuado del principio de Le Châtelier, ya que se estudia en forma casi paralela y esto obstaculiza la comprensión de la reversibilidad y dinámica del equilibrio químico (Van Driel, *et al*, 1998).

Otra dificultad de aprendizaje es que los alumnos muestran serias deficiencias en el manejo del lenguaje químico que muy probablemente se deben a la poca precisión con que los docentes nos expresamos. Por ejemplo, el empleo de la palabra “equilibrar” en el procedimiento de balancear una ecuación química, puede transmitir la imagen de que en una situación experimental determinada tiene que haber igual cantidad de reactivos o productos, o éstos estar presentes en cantidades iguales a los coeficientes estequiométricos y, como no se tienen bien fundamentados los elementos básicos de estequiometría, la confusión se agrava. En un contexto donde los alumnos atribuyen propiedades de sistemas físicos a sistemas químicos, el uso indistinto que hacen libros y profesores de las palabras “equilibrio” y “equilibrio químico” al referirse a sistemas químicos contribuye también a la confusión (Gorodetsky y Gussarsky, 1986).

Aunado a lo anterior, es un hecho que permanece la confusión entre cantidad de sustancia y concentración, tienen poco conocimiento del tema de cinética química, les es difícil plantear la expresión de la constante de equilibrio (sobre todo en equilibrios heterogéneos) y hacer la distinción entre K_c y K_p .

De frente al problema

Las definiciones

Al investigar en libros y manuales la definición de equilibrio químico, observamos que la gama es amplia:

La IUPAC' define el equilibrio químico como:

“El equilibrio químico es un proceso reversible [procesos que pueden ser hechos en dirección directa o inversa por un cambio (infinitesimal) de una variable], es el último punto donde las velocidades en ambas direcciones son idénticas, de modo que el sistema da la apariencia de tener una composición estática a la cual la energía libre de Gibbs, G , es mínima. En el equilibrio, la suma de los potenciales químicos de los reactivos son iguales a la de los productos, por lo que:

$$\Delta G_r = \Delta G_r^\circ + RT \ln K = 0$$

$$\Delta G_r^\circ = -RT \ln K$$

La constante de equilibrio, K , está dada por la ley de acción de masas.”

Brown (2004) lo define como:

“La condición en la cual las concentraciones de todos los reactivos y productos en un sistema cerrado dejan de cambiar con el tiempo.”

Garritz y Chamizo (2001) comentan que:

“En el equilibrio, las reacciones en ambas direcciones ocurren a la misma velocidad.”

Chang (2007) dice que el equilibrio

“Es un estado en el que no se observan cambios durante el tiempo transcurrido. Cuando una reacción química alcanza el estado de equilibrio, las concentraciones de reactivos y productos permanecen constantes con el tiempo, sin que se produzcan cambios visibles en el sistema.”

La interpretación nanoscópica

Los estudiantes deben explicar el carácter dinámico del equilibrio químico con el modelo de teoría de las colisiones, aplicado al proceso reversible que está ocurriendo. A nivel nanoscópico existe una gran actividad debido a que las partículas de reactivos siguen formando moléculas de producto, y éstas a su vez reaccionan para formar moléculas de reactivos (proceso dinámico) Chang (2007).

Lo que se observa en el laboratorio

Es necesario también que los estudiantes identifiquen el comportamiento macroscópico de un sistema en equilibrio químico, y para ello han de disponer de criterios claros como la observación empírica de que a temperatura constante y sea cual sea el estado inicial del sistema se llega a una situación en la que, a pesar de que sigue habiendo reacción, la composición del sistema permanece constante a lo largo del tiempo, reacción no total.

La enseñanza debe insistir más en el tratamiento cualitativo de la situación de equilibrio, ya que la mayoría toma en cuenta la explicación macroscópica en el sentido de que las sustancias reaccionan hasta alcanzar un estado final de equilibrio en el cual el sistema no cambia aunque quedan sustancias que pueden interactuar. Gabel (1999) comenta la necesidad de realizar análisis cualitativos de la situación de equilibrio que permitan precisar el estudio a realizar, donde el estudiante sepa caracterizar macroscópicamente la situación o estado final al que llega el sistema, relacionándolo con la caracterización nanoscópica, para posteriormente representarlo simbólicamente.

La modificación del equilibrio químico. Un tema para la reflexión

En el aprendizaje del equilibrio químico en la educación media superior, se identifican tres conceptos que pueden usarse para predecir qué ocurrirá cuando las mezclas de reacción, que están en equilibrio, se alteran: *el principio de Le Châtelier, la ley de equilibrio y el análisis de las velocidades de reacción usando la teoría de las colisiones*. Estas explicaciones pueden utilizarse independientemente para hacer predicciones acerca de los efectos de los cambios a las mezclas en equilibrio, y evitar así el uso exclusivo del principio de Le Châtelier para este propósito. Veamos uno por uno.

Se puede enunciar el principio de Le Châtelier como sigue: “Un cambio de una de las variables que describe un sistema en equilibrio produce un desplazamiento de la posición de equilibrio que contrarresta el efecto del cambio.” Este principio describe lo que sucede a un sistema cuando de momento algo lo perturba desviándolo del estado de equilibrio. Existen tres formas en las que se pueden cambiar las condiciones de una reacción química en equilibrio:

- Cambiar la concentración de uno de los componentes de la reacción,
- cambiar la presión del sistema, y
- cambiar la temperatura a la que se efectúa la reacción (Spencer-Bodner, 2000).

Generalmente, los estudiantes utilizan múltiples explicaciones cuando predicen el efecto de los cambios en las mezclas que se encuentran en equilibrio. En diferentes contextos, un estudiante puede usar la ley de equilibrio, pero la preferencia general por el principio de Le Châtelier es evidente. La inmensa mayoría de los profesores encuestados (87%), mencionan que prefieren usar el principio de Le Châtelier porque “es más fácil de explicar, más lógico, más claro y menos difícil” (Tyson *et al*, 1999).

El aspecto más investigado en los libros de texto es la utilización del principio de Le Châtelier (Driscoll, 1960; Quílez, *et al*, 1993; Furió y Escobedo, 1994), los resultados de estos estudios muestran que el uso ambiguo o confuso del principio puede conducir a respuestas equivocadas, que este principio se presenta en forma simplificada, sin fundamentación teórica, sin hacer referencia a sus limitaciones y como principio infalible en la determinación del desplazamiento del equilibrio químico. Además, se habla de una consideración parcial de los factores que afectan la posición del equilibrio.

En este sentido, son pocos los textos que previenen sobre los casos en que el principio proporciona resultados contradictorios o no se cumple. Por otro lado, a pesar de que muchos libros de texto incorporan la comparación de Q (cociente de reacción) y K (constante de equilibrio) para predecir el desplazamiento del sistema perturbado, se comprueba que el principio de Le Châtelier es utilizado casi exclusivamente para este propósito (Raviolo y Martínez, 2005).

Nuestra propuesta

En total acuerdo con la teoría constructivista, las ideas del alumno deben ser parte explícita del debate en el aula, donde la autoridad está en el poder explicativo de los conceptos científicamente aceptados. Además, la discusión es importante para la metacognición, el alumno debe ser capaz de detectar las

fallas en la capacidad explicativa de sus propias ideas y buscar los principios científicos que le llevarán a las nuevas ideas, a través del uso de diversos recursos como las analogías, discusiones guiadas, el uso de modelos, cuestionarios, comparaciones, etc. (Ver mapa de la secuencia que se propone)

Metodología del trabajo de investigación

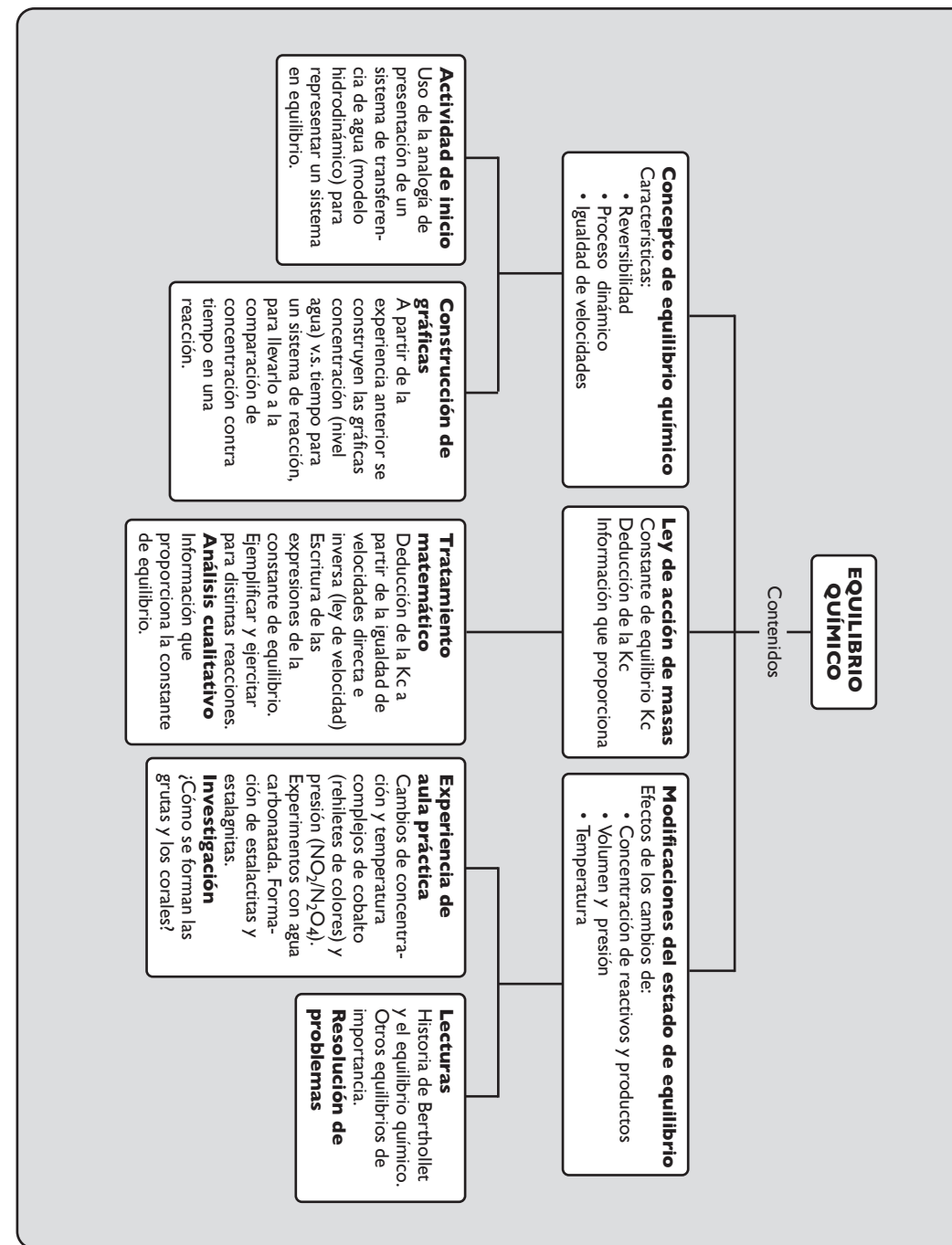
El equilibrio químico es un estado en el que no se observan cambios en el sistema durante el tiempo, es decir, las concentraciones permanecen constantes. A nivel molecular hay una gran actividad debido a que las moléculas de reactivos siguen formando moléculas de producto y viceversa, en un proceso dinámico constante. Estas características lo hacen ser un concepto abstracto y de difícil aprendizaje (Raviolo y Martínez, 2005; Tyson, *et al*, 1999 Banerjee, 1991).

Es necesario el uso de herramientas que permitan entender al alumno qué sucede en una situación de equilibrio a nivel sub-microscópico. Para lograrlo, varios autores recomiendan el uso de analogías. En la secuencia propuesta, la analogía elegida como actividad de inicio es una versión de Garritz y Chamizo (2001) de “los recipientes de agua” y el objetivo es pasar del modelo hidrodinámico al modelo de reacción química en equilibrio.

La analogía propone una actividad con dos estudiantes, cada uno de ellos tiene un vaso de igual capacidad y una cubeta transparente. Respetando la condición de no inclinar la cubeta, el alumno A saca agua de su cubeta y la vierte en la cubeta del alumno B. Al mismo tiempo, el alumno B saca agua de su cubeta y la vierte en la del alumno A. Esta acción se repite por varios minutos y se van anotando los volúmenes de agua en las dos cubetas. Durante la actividad, se formulan diversas preguntas: ¿qué se observa en relación al nivel del agua en los dos recipientes?, ¿existe alguna diferencia en saber qué recipiente contenía inicialmente el agua? Después se les da a los alumnos recipientes con distintas capacidades y se procede de la misma manera. Las preguntas que se formulan, además de las anteriores son: si uno de los vasos tiene mayor volumen que el otro ¿toda el agua pasará de una cubeta a la otra o quedará agua en ambas cubetas?

Al finalizar la actividad, el profesor dirige el análisis de los resultados y observaciones para que, al compararlos con una reacción química en equilibrio, los alumnos encuentren respuestas a preguntas como: ¿qué significa el “estado de equilibrio”?, ¿cómo la concentración y velocidad de reacción cambian en una reacción que sí está o que no está en equilibrio?, ¿cuáles son las características de una reacción en equilibrio?, ¿qué clase de datos son característicos del equilibrio?

También existe la necesidad de introducir el concepto de constante de equilibrio (K_c) que indique hasta dónde puede progresar la reacción directa frente a la inversa si un sistema determinado alcanza el equilibrio. El operativismo frecuentemente provoca dificultades para comprender el



significado cualitativo de la constante, respecto al grado de avance de la reacción directa frente a la inversa. Por ello es fundamental analizar la situación problemática tanto cualitativa como cuantitativamente, de tal forma que los estudiantes puedan precisar el estudio a realizar y logren caracterizar macroscópicamente la situación o estado final al que llega el sistema. Sería de gran utilidad también que se propiciara la descripción nanoscópica y el carácter dinámico del equilibrio químico, para posteriormente representarlo simbólicamente. Estos tres niveles de explicación, son particularmente confusos para el estudiante y esta dificultad le impide integrarlos, llevándolos a tener un punto de vista fragmentado de la química que no puede armarse como un todo y que evita la adecuada comprensión de conceptos.

Es importante tener un buen escenario con planteamiento de situaciones problemáticas de interés para el alumno, ya que la búsqueda de una solución justificará la necesidad epistemológica, económica o social, de introducir el nuevo concepto. Mientras el alumno no comprenda cuál es el problema estructurante planteado en el estudio del equilibrio químico, no podrá responder a la necesidad de estudiar el concepto, pues para él carece de significado y utilidad y, por lo tanto, de interés. Debe dirigirse al alumno a pensar cómo es posible que no se produzca reacción si aún quedan reactivos, y relacionarlo a una variedad de ejemplos de interés que puede tener el estudio del equilibrio químico en la solución de problemas personales y sociales.

Finalmente la validez del concepto de equilibrio químico depende de su utilidad en un marco teórico determinado, debe servir para explicar y proyectar diversas situaciones, sobre todo prácticas. El planteamiento de situaciones problemáticas de interés, como la formación de la capa de ozono, la regulación del pH en la sangre, la adaptación al mal de altura, aplicaciones industriales de importancia económica, las condiciones que favorecen que una bebida gaseosa conserve el gas, la formación de estalactitas y estalagmitas, la formación de los corales, etc., cuya solución conduzca a hacer ver la necesidad de comprender el concepto de equilibrio químico para entender el problema planteado y poder plantear soluciones.

La evaluación de la propuesta

Para poner a prueba la efectividad de la secuencia didáctica propuesta, se aplicó un cuestionario que permitió identificar los avances de los alumnos en el entendimiento conceptual y procedimental del equilibrio químico, además de las concepciones alternativas que surgieron después de la instrucción.

El cuestionario se aplicó a tres grupos de estudiantes, el grupo piloto (P) al que se le impartió la propuesta didáctica, con 50 estudiantes y a dos grupos testigo de 42 y 44 alumnos, T1 y T2,

respectivamente. Los tres son grupos de planteles distintos de la Escuela Nacional Preparatoria, el piloto y el testigo son de 6° año de Química IV área I y el segundo grupo testigo es un grupo de Química IV área II. A continuación se presentan los resultados:

Aspectos a indagar	Resultados	P	T1	T2
Concepto de reversibilidad [pregunta 2a]	Explican correctamente el término	78%	31%	26.8%
	No pueden explicarlo	10%	0	36.6%
	Contestan que equilibrio implica únicamente la reacción directa	8%	14.3%	9.8%
	Sólo conciben la reversibilidad si existen cambios en las condiciones de reacción (PLC)	0	16.7%	4.9%
	No contestan	4%	38.1%*	22%
Equilibrio como constancia de concentraciones [pregunta 2c]	Saben explicar que en el equilibrio hay constancia de concentraciones	86%	28.6%	43.9%
	Mencionan equilibrio en términos de igualdad de concentraciones	20%	21.4%	9.8%
	Equilibrio es la proporción o igualdad de coeficientes estequiométricos	0	9.5%	14.6%
	No contestan	8%	40.5%	31.7%*
Representación sub-microscópica del equilibrio [pregunta 5]	Explican correctamente en términos de constancia de concentraciones	60%	23.8%	24.4%
	Esperan igualdad de concentraciones, por lo que no hay equilibrio	10%	26.2%	43.9%
	Esperan un comportamiento pendular	6%	11.9%	9.8%
	No percibe la naturaleza dinámica	2%	7.1%	0
	No contestan	22%*	31%	22%

Equilibrio como igualdad de velocidades [preguntas 3 y 4]	En el equilibrio hay igualdad de velocidades	54%	45.2%	43.9%
	En el equilibrio hay igualdad de concentraciones	28%	54.8%	41.5%
	Solamente piensan en la reacción directa sin toman en cuenta la inversa	18%	0	14.6%
Expresión de la constante de equilibrio (ley de acción de masas) [pregunta 7b]	Expresan correctamente la Kc	90%	38.1%	75.6%
	Expresiones incorrectas	6%	26.2%	12.2%
	No contestan	4%	35.7%	12.2%
Cálculo de Kc por sustitución de valores numéricos de concentraciones al equilibrio [pregunta 9]	Respuesta correcta	90%	54.8%	78%
	Respuesta incorrecta	10%	21.4%	14.6%
	No contestan	0	22.8%	7.3%
Interpretación del valor numérico de la constante de equilibrio [pregunta 6b]	Interpretan correctamente el valor de Kc	62%	9.5%	14.6%
	Respuestas incorrectas	34%	47.6%	19.5%
	No contestan	4%	42.9%	65.9%
Correcta interpretación del valor numérico de Kc en función de una situación aplicada al equilibrio [pregunta 7a]	Interpretan correctamente el valor numérico de Kc	30%	7.1%	22%
	Interpretación incorrecta	38%	21.4%	4.9%
	No contestan	32%	71.4%	73.2%
Determinar el valor de Kc de reacción inversa a partir del valor de Kc de reacción directa [pregunta 7c]	Respuesta correcta	58%	9.5%	26.8%
	Respuestas incorrectas (presentan problemas con exponentes)	30%	33.3%	29.2%
	No contestan	12%	57.1%	44%
Dependencia de la temperatura de la constante de equilibrio [pregunta 1]	Respuesta correcta	94%	50%	53.7%
	Respuesta incorrecta	6%	42.9%	46.3%
	No contestan	0	7.1%	0
Representación sub-microscópica (diagramas) de las concentraciones al equilibrio, valor de Kc y su interpretación [pregunta 8]	Tomaron en cuenta el valor de la Kc para elegir la mejor representación sub-micro	48%	33.3%	39%
	Respuesta incorrecta	28%	40.5%	46.3%
	No contestaron	24%	26.2%	14.6%

Factores que modifican la situación de equilibrio [pregunta 10]	Respuesta correcta	90%	64.3%	87.8%
	No contestan	10%	35.7%	12.2%
Principio de Le Châtelier: modificación de la concentración de productos [pregunta 11]	Desplazamiento correcto	84%	47.6%	56.1%
	No contesta	16%	52.4%	43.9%
Principio de Le Châtelier: modificación de la concentración de productos [pregunta 12]	Desplazamiento correcto	60%	50%	51.2%
	Respuesta incorrecta	36%	42.3%	41.5%
	No contestan	4%	7.1%	7.3%
	No contesta	4%	7.1%	7.3%
Principio de Le Châtelier: cambio en las concentraciones de reactivos o productos [pregunta 13]	Respuesta correcta	56%	50%	65.9%
	Respuesta incorrecta	38%	40.5%	26.8%
	No contestan	6%	9.5%	7.3%
Principio de Le Châtelier: cambio de temperatura en reacciones [pregunta 14]	Respuesta correcta	26%	19%	53.7%
	Respuesta incorrecta	46%	52.4%	43.9%
	No contestan	28%	28.6%	2.4%
Principio de Le Châtelier: aumento de presión en el sistema en equilibrio [pregunta 15]	Respuesta correcta	62%	69%	87.8%
	Respuesta incorrecta	30%	14.3%	12.2%
	No contestan	8%	16.7%	0

Análisis de resultados

En este momento estamos realizando el estudio estadístico de los resultados obtenidos y aun no podemos comentar las conclusiones a las que nos llevan estos. Sin embargo, con base en el cuadro, se observan diferencias notorias entre los grupos testigo y el grupo piloto, algunas de ellas son:

- Más del doble de alumnos son capaces de explicar el término de reversibilidad (78% contra 31% y 26.8%) después de la instrucción con la secuencia recomendada.

- El 86% son capaces de contestar que en el equilibrio hay constancia de concentraciones, a diferencia de los grupos testigo, donde lo hacen sólo el 28.6% y el 43.9%, respectivamente, y donde el 40.5% y 31.7% no contestan.
- Alrededor de la mitad de los estudiantes, saben que las velocidades de las reacciones son iguales, en ambos sentidos: 54% (P), 45.2% (T1) y 43.9% (T2), sin embargo, en los diagramas de partículas no ven la naturaleza dinámica del equilibrio y le atribuyen una igualdad de concentraciones, no de velocidades.
- El manejo de la constante, su expresión, valor e interpretación de este valor, son mayores en el grupo piloto que Los grupos testigo.
- En cuanto a la explicación de la naturaleza del equilibrio químico, los grupos testigo, siempre hacen referencia al principio de Le Châtelier. La enseñanza del tema en torno a este principio, contamina enormemente al alumno, pues lo hace dependiente de su uso.

Trabajo futuro:

- Afinar la propuesta didáctica y seguirla validando.
- Modificar el instrumento de evaluación. En este estudio se aplicaron dos cuestionarios, sólo se muestran los resultados de uno de ellos y en un futuro mostraremos los resultados del segundo. Con base en los resultados que se obtengan se elegirán las preguntas más útiles para conformar un solo cuestionario.
- Una vez hechas las modificaciones respectivas, se pretende seguir el estudio y análisis de la enseñanza de este tema y otros temas relacionados.

Conclusiones

Como se mencionó anteriormente, la enseñanza habitual del equilibrio químico generalmente se realiza en paralelo con la enseñanza del principio de Le Chatelier. La investigación documental realizada, así como el análisis de los resultados de nuestra investigación, concuerdan con el hecho de que la pareja principio de Le Chatelier-equilibrio químico es más dañina que fructífera, ya que propicia que el estudiante de bachillerato no centre su atención en los aspectos que caracterizan e identifican al concepto; constancia de concentraciones e igualdad de velocidad de los procesos directo e inverso. De esta forma, el estudio del equilibrio químico queda siempre asociado a lo que sucede al cambiar la concentración, presión y/o temperatura. Es fundamental detener nuestra

instrucción para lograr una construcción significativa del concepto antes de hacer referencia a lo que sucede cuando se modifica este estado.

Notas

¹ 1994, 66, 1114 IUPAC Compendium of Chemical Terminology, 2nd Edition (1997)

Referencias

- BANERJEE, A. C. (1991) Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium. *Int. J. Sci. Educ.*, 13(4), 487-497.
- BROWN, T., Lemay, E. y Burstein, E. (2004) *Química: la ciencia central*. Prentice Hall, México.
- CAMACHO, M. y Good, R. (1989) Problem solving and chemical equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching* 16(3): 251-272.
- CHANG, R. (1999). *Química*. Mc Graw Hill Interamericana Editores, México.
- DRISCOLL, D. R. (1960). The Le Chatelier Principle. *Australian Science Teacher's Journal* 6(3): 7-15.
- FURIÓ, C. y Escobedo, M. (1994). La fijación funcional en el aprendizaje de la química. Un ejemplo paradigmático: usando el principio de Le Chatelier. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales* 8: 109-124.
- GABEL, D. (1999) Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), pp. 548-554.
- GARRITZ, A. y Chamizo, J. A. (2001). *Tú y la química*. Pearson Educación, México.
- GORODETSKY, M. y Gussarsky, E. (1986). Misconceptions of the chemical equilibrium concept as revealed by different evaluation methods. *European Journal of Science Education* 8(4): 427-441.
- JOHNSTONE, A. H., Macdonald, J. J. y Webb, G. (1977) Chemical Equilibrium and its conceptual difficulties. *Ed. Chem.*, 143, 169-171.
- POZO, J. I., Sanz, A., Gómez, M. A. y Limón, N. (1991), Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva. *Enseñanza de las ciencias*, 9, pp. 83-94.
- QUÍLEZ, J., Solaz, J. J., Castelló, M. y Sanjosé, V. (1993). La necesidad de un cambio metodológico en la enseñanza del equilibrio químico. *Limitaciones del principio de Le Chatelier*. *Enseñanza de las Ciencias* 11(3): 281-288.
- RAVILOLO, A. y Martínez M. (2005) El origen de las dificultades y de las concepciones alternativas de los alumnos en relación con el equilibrio químico. *Educación química*, 16(x), pp. 159-166.
- SHAYER, M. y Adey, P. (1981). *La ciencia de enseñar ciencias*, Narcea, Madrid.
- SPENCER, J., Bodner, G. y Rickard, L. (2000). *Química: estructura y dinámica*. Compañía editorial continental. México.

- TYSON, L, Treagust, D. y Bucat, R. (1999.) The complexity of teaching and learning chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education* 76(4), pp. 554-558.
- VAR DER BORGHT, C. y Mabilie, A., (1989). The evolution in the meanings given by Belgican secondary school pupils to biological and chemical terms. *Int. J. Sci. Educ.*, 11(3), 347-362.
- VAN DRIEL, J., De Vos, W., Verloop, N. y Dekkers, H., (1998) Developing secondary students' conceptions of chemical equilibrium. *Int. J. Sci. Educ.*, 20(4), 379-392.

¿Cuál es el conocimiento básico que los profesores necesitan para ser más efectivos en sus clases? El caso del concepto 'reacción química'

Elizabeth Nieto Calleja, Andoni Garritz y Flor Reyes-Cárdenas

Introducción

El reto actual en la clase de Ciencias ya dejó de ser transmitir información, sino que ahora hay que enseñar a utilizarla, a establecer relaciones entre enunciados aparentemente dispares y, muy especialmente, a comunicar nuestras ideas y debatir con las expresadas por los demás.

Shulman (1987) nos habla de la base de conocimientos del profesor, como algo que vale la pena averiguar y discutir desde sus fuentes, para formar nuevos profesores; por ejemplo este autor explora el proceso de razonamiento pedagógico y de acción en el cual tal conocimiento del profesor es empleado (pp. 5-8). Nos dice, "El profesor puede transformar el entendimiento, las habilidades de desempeño o las actitudes y valores deseados, en representaciones y acciones pedagógicas. Éstas son formas de hablar, mostrar, promulgar o representar ideas de tal forma que lo desconocido pueda volverse conocido, para que aquellos sin entendimiento puedan comprender y discernir, y para volver aptos a los no calificados. Por ello, enseñar necesariamente empieza con la comprensión del profesor de qué se debe aprender y cómo debe ser enseñado." Después de más de quince años de haberse propuesto los conceptos de 'base de conocimiento' y de 'conocimiento pedagógico del contenido' por Shulman (1986), de Jong, Veal y van Driel (2002) han escrito un capítulo con el nombre "Exploring chemistry teachers' knowledge base" en el que recopilan los trabajos que, de alguna forma, han tenido que ver con el desarrollo de esta rama de la investigación sobre la enseñanza de la química.

Desde hace más de dos décadas, numerosos investigadores de la enseñanza de las ciencias se han dado a la tarea de reflexionar acerca de la acción de los docentes en el aula, como dicen Pozo y Gómez Crespo (1997, pp.73-105), al indagar los aprendizajes implícitos de los profesores en relación con su tarea y las formas en que los hacen explícitos. Estos autores agregan al final de su libro (pp. 307-308) "La probabilidad de éxito será mayor cuando las decisiones [sobre fijar las metas y las actividades de enseñanza y evaluación a desarrollar] sean coherentes con los supuestos de ese profesor o grupo de profesores sobre la naturaleza del conocimiento científico

y su aprendizaje... aprender a enseñar ciencia requiere de los profesores un cambio conceptual, procedimental y actitudinal no menos complejo que el que exige a los alumnos el propio aprendizaje de la ciencia.”

En este trabajo pretendemos documentar el conocimiento básico de cinco profesores de la educación a nivel universitario sobre el concepto de ‘reacción química’, complementando lo que ya informaron dos de los autores (Reyes y Garritz, 2006).

Marco Teórico

Los profesores deben conocer bien cuál es el objetivo de su enseñanza; qué es lo que resultará fácil o difícil de aprender por sus alumnos; cuáles son las concepciones alternativas (CA) más comunes en ellos; y cómo organizar, secuenciar, presentar y evaluar el contenido para abastecer los diversos intereses y capacidades de sus alumnos. Todo este conocimiento se resume en el Conocimiento Pedagógico del Contenido (CPC, Garritz y Trinidad-Velasco, 2004; 2006).

El CPC, se refiere al producto de la interacción entre el contenido temático de la materia y la pedagogía, y al tipo de conocimiento que los profesores de ciencias deben poseer, ya que no sólo tienen que conocer y entender el tema científico, sino también cómo enseñar ese contenido de forma efectiva (Barnett y Hodson, 2001; Garritz y Valdés, 2007).

El propósito de este trabajo es presentar los resultados de utilizar la metodología aplicada para representar el CPC de los profesores, utilizando la Representación del Contenido (ReCo) y los Repertorios de experiencia Profesional y Pedagógica (Re-PyP) informados por un grupo australiano de investigación educativa: Loughran, Mulhall y Berry (2004). Hemos seguido la metodología propuesta por estos autores para obtener las ReCos de cinco profesores de nivel universitario sobre reacción química y los Re-PyPs de dos de ellos (ver el artículo de Loughran et al., 2001, donde se les llama PaP-eRs, por sus siglas en inglés, o Inventarios, como los llaman Raviolo y Garritz, 2005).

La ReCo establece y discute el entendimiento de los profesores de ciencias sobre aspectos particulares del CPC, empezando por declarar las ideas centrales alrededor del tema específico; la importancia de que los alumnos las adquieran; el conocimiento de las CA de los alumnos; los puntos conocidos de confusión en ellos; la secuenciación efectiva; las estrategias didácticas y las formas de evaluarlas. Los inventarios muestran los aspectos de la enseñanza y aprendizaje de un tema en particular.

Metodología

Se seleccionaron cinco profesores destacados del nivel de licenciatura, con una antigüedad promedio de treinta años, que hubieran impartido al menos durante diez años la asignatura ‘Química General’, que se caracterizasen por involucrarse en un tipo de enseñanza centrado en los estudiantes, o sea, uno no tradicional, y que contaran con libros y otros materiales impresos relacionados con la enseñanza.

- Cada uno de los cinco profesores del nivel universitario fue entrevistado, con el primer propósito de aclarar lo que debería considerarse como ‘ideas centrales’ en el cuestionario (Tabla 1) que nos proponen Loughran, Mulhall y Berry (2004).
- A este respecto se les aclaró que las ‘ideas centrales’ son los tópicos que forman parte del conocimiento disciplinario en los que acostumbran dividir la enseñanza del concepto de RQ y que constituyen el corazón del tema.

¿Cuáles son las ideas científicas que se encuentran en el centro del tema ‘Reacción química’ (RQ)? Es decir, Seleccione entre tres a cinco ideas en las que acostumbre dividir la enseñanza del concepto de RQ. Se trata de que en ese conjunto de ideas estén reflejadas las más importantes del tema a impartir, o de sus precedentes.

Para cada una de estas ideas responda las siguientes preguntas:

1. ¿Qué intenta que aprendan los alumnos alrededor de esta idea?
2. ¿Por qué es importante que los alumnos sepan esta idea?
3. ¿Qué más sabe respecto a esta idea?
(y que no incluye en sus explicaciones a sus alumnos)
4. ¿Cuáles son las dificultades/limitaciones relacionadas con la enseñanza de esta idea?
5. ¿Qué conocimientos acerca del pensamiento de los alumnos influyen en su enseñanza de esta idea?
6. ¿Qué otros factores influyen en su enseñanza de esta idea?
7. ¿Qué procedimientos de enseñanza emplea?
(y las razones particulares de su uso con esta idea).
8. ¿Qué formas específicas de evaluación del entendimiento o de la confusión de los alumnos emplea alrededor de esta idea?

Tabla 1. Base de la ReCo (Representación del contenido)
Base de las entrevistas

Ideas centrales	Profesor 1	Profesor 2	Profesor 3	Profesor 4	Profesor 5
Relaciones cuantitativas de la reacción química y balanceo de ecuaciones	Balanco	Relaciones cuantitativas del cambio químico	Nomenclatura y estequiometría	Balanco de una ecuación química	Relaciones en masa y en cantidad de sustancia, reactivo limitante, rendimiento, pureza de los reactivos, etc.
Conservación de la masa o de los átomos	Conservación de núcleos y electrones (conservación de la masa)	Conservación de la masa. Conservación de átomos	Representación simbólica de una reacción	Conservación de la masa. Conservación de átomos	Conservación de la masa. Conservación de los átomos
Representación de las reacciones	Representación de reacciones	Representación de reacciones	Representación simbólica de una reacción	Una reacción química real se representa por medio de una ecuación química	Representación de reacciones
Formación de nuevas sustancias	Formación de nuevas sustancias	Formación de nuevas sustancias	Clasificación de las reacciones	Formación de nuevas sustancias	Formación de nuevas sustancias
Tipos de reacciones químicas	Tipos de reacciones químicas	Tipos de reacciones químicas	Clasificación de las reacciones	Tipo de reacciones químicas	
Naturaleza corpuscular de las sustancias	Naturaleza corpuscular de las sustancias	Modelo corpuscular		Modelo corpuscular	
Naturaleza eléctrica de las partículas	Naturaleza eléctrica de las partículas				
Discontinuidad de la materia	Discontinuidad de la materia	Discontinuidad de la materia		Discontinuidad de la materia	Discontinuidad de la materia
El concepto de cantidad de sustancia y su unidad el mol		Concepto de cantidad de sustancia	Concepto de mol	Concepto de cantidad de sustancia y su unidad el mol	El concepto de cantidad de sustancia y su unidad el mol
Ley de Coulomb	Ley de Coulomb		Tabla periódica		
Conservación de la energía	Conservación de la energía		Tabla periódica		
Tabla periódica			Enlace y equilibrio químico		
Enlace y equilibrio químico			Enlace y equilibrio químico		
Concepto de sustancia, átomo y molécula	Concepto de sustancia	Concepto de sustancia		Concepto de sustancia, átomo y molécula	Concepto de sustancia, átomo y molécula
Fórmula única para cada sustancia					Fórmula única para cada sustancia

Tabla 2. Ideas centrales de los cinco profesores entrevistados.

- Se trata de que en ese conjunto de ideas estén reflejadas las más importantes del tema a impartir, o de sus precedentes, y que constituyan un referente importante de la manera en la que dividen en porciones sus clases

Resultados

Encontramos en ellos un gran abanico de ideas centrales citadas para la enseñanza de la RQ (ver la tabla 2). Vemos que algunas de ellas son tópicos demasiado específicos sobre el tema o sus antecedentes y que han sido informadas con demasiada brevedad, como por ejemplo la 'fórmula única para cada sustancia' o 'la Ley de Coulomb'.

Observamos que hay similitud y relativa homogeneidad en los cinco primeros renglones.

Investigaciones mexicanas	Investigaciones australianas
Formación de nuevas sustancias	En una reacción química (una o más) nuevas sustancias se producen
Tipos de reacciones	Existen patrones para muchas reacciones químicas
Representación de reacciones	Las ecuaciones describen a los reactivos y productos en una reacción
Relaciones cuantitativas de la reacción química y balanceo	
Conservación de la masa o de los átomos	
	Las sustancias químicas pueden ser representadas por fórmulas
	Los productos químicos orgánicos contienen carbón

Tabla 3. Las cinco ideas centrales más comunes entre los cinco profesores y su comparación con las cinco ideas centrales informadas para profesores australianos (Mulhall, Berry y Loughran, 2003).

En los colegas australianos no aparecen ideas centrales sobre los aspectos submicroscópicos (en adelante usaremos 'nanoscópicos', que está más de acuerdo con la medida real de los átomos y las moléculas), o acerca de la conservación de la masa.

Ahora revisaremos algunas expresiones interesantes incluidas en la ReCo de los profesores entrevistados y se comentarán de acuerdo con algunas recomendaciones didácticas que se han dado en artículos recientes.

I. Con relación a la idea central de ‘conservación de la materia’, y la pregunta 2 del cuestionario de la tabla I, que se refiere a la importancia del tema para los estudiantes, transcribimos a continuación lo expresado por tres de los profesores:

- *La parte fundamental en este aspecto es que los estudiantes aprendan que durante una reacción química se forman nuevas sustancias cuyas propiedades son muy diferentes a las de aquellas de las que partieron, y que en ese proceso, la masa se mantiene constante si la reacción se lleva a cabo en un sistema cerrado.*
- *La necesidad de dar nombre a los compuestos químicos. De introducir las leyes de la conservación de la masa en las reacciones químicas. Que comprendan el significado de las fórmulas químicas y de las ecuaciones químicas. De hacer énfasis en la importancia de la utilización del concepto de mol.*
- *A pesar de que aparecen nuevas sustancias, la masa se conserva en una reacción química.*

Comentario

- Con relación al (el enunciado, la respuesta, la propuesta, el planteamiento) del segundo profesor, es claro que no es sino pasando primero por la naturaleza nanoscópica de la RQ y la identificación de elementos en las fórmulas de las sustancias iniciales y finales que se llega a la conclusión de que se da la conservación elemental en una reacción química.
- Solsona e Izquierdo (1998) nos indican que la conservación de los elementos químicos es un concepto francamente difícil de asimilar por los estudiantes.
- De aquí que Griffiths y Preston (1992, p. 612) señalen que “los educadores de la química generalmente están de acuerdo en que la comprensión de los conceptos átomo y molécula son fundamentales para el aprendizaje de la química.”
- Consecuentemente la insistencia del segundo profesor que menciona la necesidad de que los alumnos “comprendan el significado de las fórmulas químicas y de las ecuaciones químicas”, es decir, que los alumnos transiten de la comprensión macroscópica de una RQ a su comprensión nanoscópica, con claridad acerca de la verdadera transformación de la estructura molecular.

II. En cuanto a ‘representación de reacciones’, dos de los profesores nos citan lo siguiente en la pregunta 4; las dificultades y limitaciones relacionadas con la enseñanza de esta idea:

- *Pasar al mundo de lo simbólico requiere de aclaraciones constantes por parte del profesor. Todo se trata de presentar un modelo representacional que resulte sintético y valioso para el entendimiento de la química.*
- *La forma simbólica de representar una reacción química es por medio de una ecuación química.*

Comentario

- Con relación a la representación de reacciones químicas mediante símbolos, Gabel (1999, p. 548) cita el triángulo de Johnstone (1991, véase la figura 1): “La materia que es observada y puede ser estudiada al nivel macroscópico, puede también ser descrita al nivel nanoscópico y, en ocasiones al hacerlo, parece que las explicaciones son más definitivas. Para complicar más las cosas, los químicos pueden representar ambos niveles, el macroscópico y el nanoscópico mediante el empleo de símbolos químicos, formulas químicas y ecuaciones químicas.” Es una destreza muy particular del profesor de química ir acostumbrando a los estudiantes a este cambio de foco de la química, que lo lleva de manera natural de uno de los vértices del triángulo de Johnstone al otro.

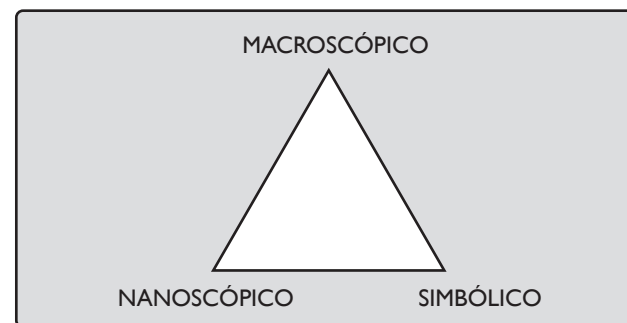


Figura 1. El triángulo de Johnstone. Estos tres niveles debe abarcar la enseñanza de la química. Hay que aclarar que Johnstone empleó 'submicroscópico' en lugar de 'nanoscópico'.

III. Con relación al tema ‘relaciones cuantitativas de la reacción química y balanceo’

- III.a Se presentan a continuación los siguientes objetivos de aprendizaje de dos de los profesores (pregunta 1):

- *Lo que aquí se intenta es que los estudiantes sean capaces de realizar los cálculos estequiométricos involucrados en una reacción química. Para comprender este tema es necesario que cuenten con el concepto de cantidad de sustancia y su unidad, mol, y que tengan destreza en el manejo del concepto de proporcionalidad.”*
- *Establecer la proporción en que intervienen los reactivos para predecir la cantidad de productos que se obtendrán a través de cálculos estequiométricos sencillos.*

Comentarios

- El concepto cantidad de sustancia y su unidad, mol, ha sido uno ampliamente debatido en la literatura educativa (Dierks, 1981; Strömdahl et al., 1994; Furió et al., 2000), sobre todo, el poco uso del primero en los libros de texto de química, por lo cual resulta gratificante la frase del primer profesor.
- Para llevar a cabo la cuenta de las masas involucradas en una reacción de todos los compuestos participantes, es muy útil emplear una tabla de reacción (Watkins, 2003), que es lo que parece recomendar el segundo profesor con su Ver arriba

III. b Para la idea ‘balanceo de ecuaciones’, presentamos las expresiones opiniones etc. de tres profesores con respecto a los conocimientos acerca del pensamiento de los estudiantes que influyen en su enseñanza de esta idea (pregunta 5):

- *Los profesores con frecuencia olvidamos que gran parte del lenguaje que usamos para describir fenómenos químicos no es obvio para los estudiantes. Se debe tener en cuenta que las fórmulas, ecuaciones y otras representaciones simbólicas usadas en química no son familiares a los estudiantes y que ellos están aprendiendo un nuevo lenguaje. En una ecuación química hay una serie de ítems que los estudiantes deben aprender su significado: fórmulas, símbolos como: Δ , \downarrow , \uparrow \Leftrightarrow \rightarrow , s, l, g. Los subíndices y los coeficientes son frecuentemente confundidos.*
- *Desconocen el lenguaje químico, por lo que no saben escribir las fórmulas, no aplican el principio de la conservación de la masa, por lo que no balancean las ecuaciones químicas y modifican los subíndices de las fórmulas para balancear las ecuaciones.*
- *Los alumnos deben superar la dificultad que tienen en distinguir que en una fórmula química los subíndices indican el número de átomos de cada elemento presente y el coeficiente indica el número de fórmulas que hay que considerar y que afecta a todos los elementos presentes en el compuesto.*

Comentarios

- La alerta del primer profesor acerca de lo novedosa que es toda la simbología química para los alumnos es de tomarse en consideración para el desarrollo del CPC de los profesores novatos.
- Añade complejidad a la química el uso frecuente de símbolos matemáticos, fórmulas y ecuaciones para expresar relaciones a los niveles macroscópico y nanoscópico (Gabel, 1999).
- Con relación a la segunda y tercera, ha sido informada desde hace tiempo en la literatura (Paoloni, 1979; Yaroch, 1985) la confusión que se da entre los alumnos de los subíndices y los coeficientes estequiométricos en una reacción.

IV. Para la ‘formación de nuevas sustancias’, dos de los profesores nos expresan las siguientes estrategias a utilizar (pregunta 7 del cuestionario de la tabla 1):

- *Conviene al empezar el tema hablar de lo vano que resulta diferenciar los cambios físicos de los cambios químicos, sobre todo si se menciona que los cambios químicos involucran la transformación sustancial del ambiente submicroscópico, porque una disolución o un cambio alotrópico implican sin duda una transformación notable del ambiente submicroscópico, siendo que son clasificados normalmente como cambios físicos. De forma similar, otros cambios químicos como la desnaturalización de la proteína del huevo al hervirlo, no conducen a un cambio en el orden de enlace de los aminoácidos, sino únicamente a la presencia o ausencia de estructura terciaria de las proteínas involucradas.*
- *En el enfoque tradicional no se da tiempo ni espacio para consolidar el aprendizaje de un concepto que es necesario para otros subsecuentes. Se utilizan pocos ejemplos demostrativos o de imágenes que ayuden a los alumnos a reconocer que se ha formado una nueva sustancia para que traten de explicar que ese cambio ocurre a nivel submicroscópico entre los átomos. Se pueden dar problemas prácticos para reconocer la identidad de diferentes muestras de sustancias a través de realizar pruebas con diferentes reactivos y comparar resultados.*

Comentarios

- El primer profesor apunta un problema fundamental en la enseñanza de los cambios físicos como algo diferenciado de los cambios químicos, un debate que tiene ya muchos años (Gensler, 1970; Strong, 1970) y que escogimos para documentar en forma de un inventario (ver el apéndice 2).

- Con relación a la frase del segundo profesor, Bond-Robinson (2005), quien presenta un trabajo sobre CPC en el laboratorio químico, nos indica que “entender el significado químico de una reacción es correlacionar el cambio químico visible con un modelo mental de átomos, iones y moléculas reaccionando en el mundo nanoscópico.” Este paso de la descripción macro a la nano, relativa a las partículas, resulta ser el paso crucial en la enseñanza del concepto de RQ (de Vos y Verdonk, 1985; 1986; 1987).

V. Y por último para la idea ‘tipos de reacciones’, dos de los profesores nos citan en la pregunta de los procedimientos de enseñanza:

- El laboratorio es un magnífico aliado para demostrar y comprender esta idea. Se propone la realización de valoraciones sencillas ácido-base, haciendo énfasis en el funcionamiento de diferentes indicadores y la ilustración de las reacciones redox.”
- Realizar experimentalmente, y de preferencia con técnicas de microescala, una variedad de cambios químicos. Mostrar reacciones que involucren cambios energéticos y ayudarles a reconocer que se forman nuevas sustancias (cambio de color, de olor, formación de gases, de precipitados, etc.) y extender este razonamiento a otras reacciones para establecer posibles criterios que permitan clasificar las reacciones.”
- Con relación al énfasis dado en estas respuestas al trabajo práctico, conviene recordar lo que nos indican Hofstein y Lunetta (2004) para su desarrollo ulterior durante este siglo:
- *Al laboratorio se le ha dado un papel central y distintivo en la educación en ciencias, y los educadores de la ciencia han sugerido los ricos beneficios del aprendizaje acumulado al emplear actividades de laboratorio... Vivimos en una era de cambios dramáticos en los recursos de nuevas tecnologías y nuevos estándares de la educación en ciencias en los que el aprendizaje por indagación (inquiry) ha adquirido un renovado estatus central”.*

Cada ReCo permite apreciar una clara línea de trabajo de cada uno de los profesores. A continuación presentamos la característica que distingue a cada uno de ellos, con una frase textual que la revela:

- I.** El profesor 1 concibe a la química más como una ciencia donde el término ‘sustancia’ es el fundamental, que otra en la que el término ‘reacción química’ lo sea. Se trata de un profesor con una fuerte componente teórica, como revela la siguiente frase de su CoRe:

“La descripción adecuada de estas interacciones requiere del complejo y bello aparato de la mecánica cuántica, aunque las interacciones entre partículas también se pueden describir satisfactoriamente con modelos eléctricos clásicos como dipolos eléctricos y cargas puntuales.”

Sin embargo, nos aclara:

“Los modelos que describen estas interacciones son de una complejidad matemática muy superior a la que poseen los alumnos (y los profesores) de este nivel. Sería un error pretender sustentar esta idea con el rigor matemático propio de los modelos. Sin embargo, sí es factible presentar los conceptos centrales.”

2. Los profesores 2 y 3 tienen en su habitual expresión en el aula una fuerte componente experimental. Hemos extraído un párrafo de cada CoRe:

“Realizar actividades experimentales en que se varíe la proporción de uno de reactivos y el otro se mantenga constante (técnica de las variaciones múltiples). Pueden utilizarse reacciones de precipitación en que los alumnos puedan separar fácilmente el producto formado y determinar su masa. Presentar los resultados en gráficos para establecer la proporción en que varía cada uno y detectar los posibles errores experimentales en la determinación de las masas. Ésta es, sin duda, una forma fácil de obtener las fórmulas de los compuestos de forma cuantitativa.”

“El laboratorio es un magnífico aliado. Se llevan a cabo experimentos, del tipo de ciclos de reacciones, que demuestran la conservación de la materia y que involucran la práctica de la nomenclatura y de los cálculos estequiométricos. Pueden también llevarse a cabo reacciones endotérmicas y exotérmicas. O bien, realizar valoraciones sencillas ácido-base, enfatizando el funcionamiento de diferentes indicadores, o ilustrar las reacciones redox, demostraciones del Principio de Le Chatelier y la demostración de la reversibilidad de algunas reacciones.”

3. El profesor 4 es un químico teórico que pone énfasis en algunas concepciones alternativas de los estudiantes (ver Kind, 2004):

“La palabra ‘sustancia’ tiene una concepción cotidiana no tan restrictiva como la ‘sustancia’ de la química, lo cual dificulta su aprendizaje.”

“El proceso de ‘aparición’ y ‘desaparición’ de sustancias no es comprendido cabalmente por los alumnos, pues interfiere con su concepción acerca de la conservación de la materia.”

“Algunos alumnos tienen problema en identificar las proporciones atómicas en la escritura de fórmulas, a base de subíndices y paréntesis.”

4. El profesor 5 utiliza el triángulo de Johnstone para clasificar sus ideas centrales, al que añade una cuarta componente a la que denomina 'dimensión cuantitativa':

- Dimensión macroscópica
- Formación de nuevas sustancias.
- Conservación de la masa.
- ¿Cómo se sabe que se ha llevado a cabo una reacción química?
- Dimensión nanoscópica
- Discontinuidad de la materia.
- Conservación de los átomos.
- Conceptos de sustancia, átomo y molécula.
- Dimensión simbólica
- Representación de reacciones.
- Balanceo de ecuaciones.
- Dimensión cuantitativa
- El concepto de cantidad de sustancia y su unidad el mol.
- Relaciones en masa y en cantidad de sustancia, reactivo limitante, rendimiento, pureza de los reactivos, etc.

Algunas cuestiones que resaltan entre sus respuestas al cuestionario de la ReCo fueron:

- *Para que los estudiantes comprendan las reacciones químicas, deben manejar con soltura la noción de discontinuidad de la materia. La materia está formada por partículas: átomos que se combinan formando moléculas. Por otra parte, deben comprender la conservación de los átomos de cada elemento durante el transcurso de la reacción. Una gran parte de los estudiantes no tiene estos conceptos y considera que la materia es continua, por lo que no puede comprender a cabalidad lo que es una reacción química."*
- *Considero que el principal problema que tienen los estudiantes en los cálculos estequiométricos involucrados en las reacciones químicas, es que no manejan la proporcionalidad y se les presenta muy abstracto el concepto de cantidad de sustancia."*

En efecto, con relación al manejo de proporciones se ha mencionado que pocos estudiantes han alcanzado el estadio piagetiano de las operaciones formales, así que no pueden comprender el concepto de mol (Herron, 1975).

En lo relativo a los inventarios recabados, el profesor 4 nos permitió grabar su clase para elaborar el inventario que resumimos en el apéndice 2. Éste revela la problemática que existe alrededor de la definición de los conceptos 'reacción química' y 'sustancia'. En tanto, la profesora 5 nos permitió ver las reacciones que desarrolla con sus alumnos a partir de lo cual realizamos el inventario que resumimos en el apéndice 1. Es de resaltar la claridad de esta profesora en la necesidad de pasar de los aspectos macroscópicos a los nanoscópicos.

Conclusiones

La metodología propuesta por Loughran, Mulhall y Berry (2004) permitió una eficaz documentación del CPC de los profesores. La disposición y arreglo de los datos facilitó el análisis de los mismos. Resulta crucial hacer énfasis en que la ReCo es tanto una herramienta de investigación para acceder al entendimiento del contenido por parte de los profesores involucrados como una manera de representar este conocimiento.

En las ReCos recabadas, los profesores identifican claramente las ideas centrales asociadas con la RQ y los objetivos de su enseñanza, reconocen las probables dificultades conceptuales de sus estudiantes y plasman las estrategias más empleadas para abordar satisfactoriamente la clase y su evaluación. En la comparación de las ideas centrales de profesores australianos reportadas por Mulhall, Berry y Loughran (2003), tres de ellas fueron informadas por al menos tres de nuestros profesores y una cuarta por dos de ellos.

Por lo detectado en las ReCos, quizás el mayor problema que presenta la enseñanza de este tema es que en ocasiones, para muchos alumnos, la aparición de nuevas sustancias no es visible; así mismo, se les dificulta comprender que a pesar de que se conserve la masa en una reacción aparezcan nuevas sustancias, ya que, argumentan, esto actúa en contra del 'principio de conservación'. Se recomienda que el estudiante observe y analice varias RQ hasta que saque sus propias conclusiones acerca de lo que una RQ representa y después pasar a una representación nanoscópica de la misma, de tal manera que asimile que se conservan los átomos de los elementos químicos.

Resumiendo, los aspectos que los profesores entrevistados insisten como importantes para la enseñanza de este tema son:

1. Conocer las concepciones alternativas de los estudiantes.
2. La forma de comprobar que existe conservación de la masa en una reacción química es llevándola a cabo experimentalmente en un recipiente cerrado sobre una balanza.

3. El balance de elementos es algo fundamental para comprender la porción cuantitativa de las reacciones y la conservación de la materia.
4. Lo fundamental de la idea de 'Representación de reacciones' es que toca las tres puntas del Triángulo de Jonhstone.
5. El uso del concepto de cantidad de sustancia resulta prioritario para trabajar adecuadamente la fase cuantitativa del tema.
6. Hay que poner atención especial con relación a los aspectos del 'lenguaje químico'.
7. Resulta vano hablar de cambios físicos y cambios químicos.
8. Primero hablar del concepto de 'sustancia', después ya se puede entrar a la RQ, definiéndola como un proceso en el que unas sustancias se transforman en otras.
9. Es muy importante la enseñanza experimental para la idea central de 'tipos de reacciones.
10. Hay que ver antes del tema de reacción química el de estructura corpuscular de la materia.

Como característica importante de los inventarios elaborados por los profesores (que se encuentran en los dos apéndices) se encontró que reúnen preguntas o actividades que apoyan a los estudiantes a explorar conceptos centrales.

La perspectiva que emerge de esta investigación es emplear tanto las ReCos como los inventarios obtenidos para que sean discutidos por profesores en formación en talleres de trabajo. A pesar de la insistencia de que el CPC se adquiere mayoritariamente como una expresión de la propia docencia, el emplear estas muestras de ejemplos de profesores distinguidos en los talleres formativos resultará seguramente de utilidad porque reduce la novedad y la sorpresa, ya que le da mayor capacidad de respuesta al profesor en formación ante posibles situaciones que lo puedan tomar inadvertido, generándose un círculo virtuoso en el que se incrementa su confianza.

Apéndice I

Un inventario¹ de una profesora

Este inventario presenta una clase práctica para explicar las nociones sobre la RQ. La maestra presenta su forma de trabajo con el grupo, las demostraciones experimentales que utiliza y los rasgos generales de análisis y las reflexiones que hace en clase.

Como actividad inicial y para detectar algunas de las ideas que tienen los estudiantes acerca de lo que es una reacción química, se forman equipos de cuatro personas y se les entregan dos bolsas de polietileno con cierre hermético. Cada bolsa contiene un polvo blanco. Se pide a los estudiantes que mezclen en una sola bolsa las dos sustancias y que le añadan, con una pipeta de 10 mL, la disolución de una sustancia líquida (que es rojo de fenol). Se les recomienda que tengan la precaución de cerrar perfectamente su bolsa de plástico y se les pide que escriban todas sus observaciones. Los reactivos son bicarbonato de sodio y cloruro de calcio. Lo que se observa es el desprendimiento de un gas, el cual 'infla la bolsa', se observa también un cambio de coloración del líquido agregado y un considerable aumento en la temperatura.

Después de esta actividad, continúa con una lluvia de ideas de los fenómenos que los estudiantes han observado y que pueden considerar que se trata de un cambio químico. Para los alumnos resultan familiares fenómenos como la combustión, pues ésta ha formado parte de los juegos de muchos de ellos desde su niñez. También mencionan la explosión de petardos, bengalas e incluso recuerdan cuando mezclaban azufre, carbón y pastillas de clorato para preparar sus propios explosivos.

Después se procede a realizar una serie de reacciones químicas en donde se note que hay desprendimiento de gases, cambio de color, formación de precipitados, etc. (ver la figura 1) y se enfoca la discusión en el sentido de que se perciban las propiedades tanto de las sustancias que reaccionan como de las sustancias que se forman. Lo importante es que los estudiantes vean que se forman nuevas sustancias que antes no existían (ver las fotos de reacciones de este tipo en la Figura 2).

Se hace énfasis en que cuando ocurre una reacción química, las propiedades de las sustancias obtenidas son muy diferentes de las de los reactivos. El sodio es un metal muy activo que al combinarse con el cloro, que es un gas tóxico amarillo-verdoso, produce el cloruro de sodio, sólido cristalino, con el que acentuamos el sabor de nuestros alimentos.

Aquí también se hace notar que existen algunas reacciones que cuando tienen lugar, no se observa cambio alguno, como es el caso de las reacciones ácido-base en disolución. Para notar el cambio químico se tiene que hacer uso de indicadores o detectar cambios de la temperatura.

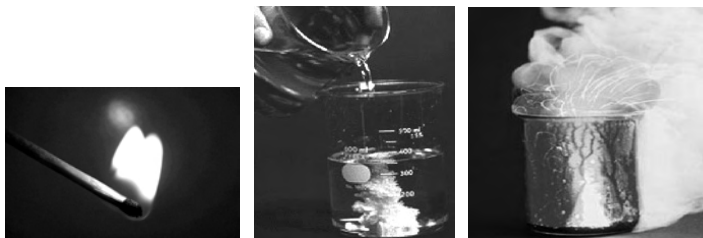


Figura 2. Algunas de las reacciones vistosas que conviene presentar a nuestros estudiantes

La profesora puso énfasis también en el empleo de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para presentar a los alumnos imágenes de reacciones químicas a nivel nanoscópico, como ha sido resaltado recientemente por Ardac y Akaygun (2005).

Estas actividades pueden realizarse aproximadamente en dos horas.

Apéndice 2

Un segundo inventario de un profesor

Este inventario presenta una clase teórica sobre lo que es 'la química' abordada por aprendizaje cooperativo, en grupos de tres estudiantes, en el cual a partir de disertaciones teóricas se analizan los conceptos sustancia, reacción química y química. La pregunta central, para empezar, es:

“**QUÍMICA:** ¿Tiene que ver con sustancias o con procesos?”

En esta clase vamos a plantear la dicotomía existente para la química, que está presente en las siguientes preguntas:

- ¿Es la química una ciencia dedicada al estudio de cosas o al de procesos? ¿Es una ciencia que trata acerca de sustancias o acerca de reacciones químicas?
- ¿Se define una reacción química por la transformación de ciertas sustancias en otras o las sustancias son definidas por sus reacciones químicas características?”

Por ejemplo, Steven Weininger (2000) apunta que a pesar de que los procesos químicos son el centro de gran parte de la investigación química, el aparato conceptual para describir estos procesos es sorprendentemente pobre comparado con el que existe para describir estructuras.

Parte el profesor de una primera definición de química (la de Ronald Stanley Nyholm, un notable químico canadiense):

La química es el estudio integrado de la preparación, propiedades, estructura y reacciones de los elementos y sus compuestos, así como de los sistemas que forman.

Recuerda entonces la definición de 'sustancia química' de la IUPAC, para incluirla en una nueva definición de 'química' (nótese que no aparece caracterizada una sustancia por sus propiedades químicas, sino sólo por las entidades elementales de las que está formada y por sus propiedades físicas):

Materia de composición constante mejor caracterizada por las entidades de las que está compuesta (moléculas, unidades fórmula o átomos). Las propiedades físicas tales como la densidad, el índice de refracción, la conductividad eléctrica, el punto de fusión, etc., caracterizan a la sustancia química.

A partir de la primera definición, añadiendo nuevos elementos y la reunión del concepto de sustancia, el profesor y sus alumnos arriban a una segunda definición.

La química es el estudio integral y controlado de las sustancias, su modo de obtención, estructura interna, propiedades, caracterización, transformaciones estructurales y cambios de energía presentes en éstas.

La 'reacción química' está escondida en el concepto 'transformaciones estructurales' y el de 'sustancia' ha reemplazado al de 'los elementos y sus compuestos', convirtiéndose en el término más importante de la definición. No cabe duda, sin embargo, que una definición como ésta hace resaltar el estudio de las sustancias como algo fundamental en química y no tanto el estudio de los procesos químicos. Pero, ¿existen de verdad procesos químicos realmente diferenciados de los procesos físicos?

Dice entonces el profesor que *siempre se falla en el intento de definir un universo de estudio de la física perfectamente ajeno al de la química*. No existe una frontera claramente definida entre ambas, lo que afortunadamente habla acerca de la unidad de la ciencia. Desde 1970 se adoptan tanto la actitud de defensa como la de ataque con relación a la enseñanza de una distinción entre 'cambios físicos' y 'cambios químicos' en dos artículos de ese año en el *Journal of Chemical Education* (Gensler, 1970; Strong, 1970).

Posteriormente el profesor va pasando por una multitud de conceptos, tales como 'entidad elemental', 'reacción química', 'especie química', 'cambio físico y cambio químico', presentando sus definiciones de la IUPAC entre las discusiones, para concluir que: "No hay sino una frontera nebulosa entre los cambios físicos y los químicos". Por ello, se dice que hacer esa distinción en el aula no es una ayuda pedagógica ni tampoco significativa desde el punto de vista científico (Borsese y Esteban, 1998). Se trata en última instancia de modelos extremos sobre el comportamiento de la materia en los procesos naturales. Y en ciencia es elemental no confundir los modelos con la realidad. "Quizá podamos encontrar casos reales de transformaciones de la materia que se adapten cercanamente a alguna definición arbitraria o convencional de modelo de cambio físico o a una de cambio químico, pero nada más".

Además, hemos tenido inevitablemente que introducir en el análisis y discernimiento de uno u otro tipo de procesos la noción nanoscópica de la estructura interna de la materia. Así, hemos de resignarnos a perder la posibilidad de definir el concepto desde un punto de vista puramente observacional, para entrar en las entrañas del nanocosmos, tan abstracto, ajeno y distante al alumno.

El artículo de Palmer y Treagust (1996) analiza los criterios que se han dado en los libros de texto para diferenciar cambios físicos de químicos durante los últimos ciento setenta años, y plantea cuatro hipótesis acerca de la longevidad de este tema en los libros:

1. El concepto es un remanente de la teoría aristotélica de la materia, retenido por el conservadurismo natural de los científicos.
2. La distinción entre cambio físico y químico en los libros es un artificio pedagógico, que ayuda a los estudiantes a entender los conceptos relacionados.
3. El concepto puede ser ilustrado por un conjunto de experimentos excitantes e interesantes que satisfacen a aquellos profesores que se ven a sí mismos orientados hacia el trabajo práctico.
4. El concepto es un ardid empleado por los químicos para definir la frontera entre química y física, con ventaja para la química, de tal forma que los jóvenes tiendan a seleccionar esta disciplina como objeto de estudio, en lugar de física.

Finalmente, el profesor plantea que hay quien toma un punto de vista intermedio ante preguntas como las que inician este inventario y llega a la conclusión de que dicha dicotomía es un problema no resuelto:

"Shummer (2004) ha argumentado hacia un enfoque integrador de la dicotomía mencionada, que combine conceptualmente sustancias y procesos químicos en una red de relaciones dinámicas, de tal forma que sustancias y reactividades se definan mutuamente una a la otra, tanto al nivel teórico como en el experimental."

Notas

- ¹ El término de "inventario" fue propuesto por Raviolo y Garritz (2005) a partir del de "Repertorios de experiencia profesional y pedagógica" (PaP-eRs son sus siglas en inglés), originalmente planteados por Loughran et al. (2001).

Referencias

- ARDAC, D. y Akaygun, S. (2005). "Using static and dynamic visuals to represent chemical change at molecular level", *International Journal of Science Education*, Vol. 27, núm. 11, pp. 1269-1298.
- BARNETT, J. y Hodson, D. (2001). "Pedagogical Context Knowledge: Toward a fuller understanding of what good science teachers know", *Science Education*, Vol. 85, pp. 426-453.
- BOND-ROBINSON, J. (2005). "Identifying pedagogical content knowledge (PCK) in the chemistry laboratory", *Chemistry Education Research and Practice*, Vol. 6, núm. 2, pp. 83-103.
- BORSESE, A. y Esteban, S. (1998). "Los cambios de la materia, ¿deben presentarse diferenciados como químicos y físicos?", *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, Vol. 17, julio, pp. 85-92.
- DE JONG, O., Veal, W. R. y Van Driel, J. H. (2002). "Exploring chemistry teachers' knowledge base", en J. K. Gilbert y otros (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, pp. 369-390.
- DEVOS, W. y Verdonk, A. H. (1985). "A new road to reactions. Part 1". *Journal of Chemical Education*, Vol. 62, Num. 3, pp. 238-240. (1985). "A new road to reactions. Part 2". *Journal of Chemical Education*, Vol. 62, Num. 8, pp. 648-649. (1986). "Part 3. Teaching the heat of reactions" *Journal of Chemical Education*, Vol. 63, Num. 11, pp. 972-974. (1987). "Part 4. The substance and its molecules", *Journal of Chemical Education*, Vol. 64, Num. 8, pp. 692-694. (1987). "Part 5. The elements and its atoms", *Journal of Chemical Education*, Vol. 64, Num. 12, pp. 1010-1013.
- DIERKS, W. (1981). Teaching the Mole. *European Journal of Science Education*, 3, 145-158.
- FURIO, C., Azcona, R. Guisasaola, J. and Ratcliffe, M. (2000). Difficulties in teaching the concepts 'amount of substance' and 'mole'. *International Journal of Science Education*, 22(12), 1285-1304.
- GABEL, D. (1999). "Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future", *Journal of Chemical Education*, Vol. 76, núm. 4, pp. 548-554.
- GARRITZ, A. y Trinidad-Velasco, R. (2004). "El conocimiento pedagógico del contenido", *Educación Química*, Vol. 15, Num. 2, pp. 98-101.
- GARRITZ, A. y Trinidad-Velasco, R. (2006). "El conocimiento pedagógico de la estructura corpuscular de la materia", *Educación Química*, Vol. 17, núm. extraord., pp. 236-263.
- GARRITZ, A. y Valdéz, R. (2007). "El Conocimiento Pedagógico del Contenido (CPC) ¿Cuál es la diferencia entre un buen

- y un mal maestro?" en *Iniciación a la cultura científica. La formación de maestros*. Editorial Antonio Machado, colección "aprendizaje". Director de la colección: Juan Ignacio Pozo, coordinador del libro José M^o Sánchez.
- GENSLER, W. J. (1970). "Physical versus chemical change", *Journal of Chemical Education*, Vol. 47, núm.2, pp. 154-155.
- HERRON, J. D. (1975). "Piaget for chemists", *Journal of Chemical Education*, Vol. 52, pp. 146-150.
- HOFSTEIN, A. y Lunetta, V. N. (2004). "The laboratory in science education: Foundation for the 21st century", *Science Education*, Vol. 88, pp. 28-54.
- 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, 157 pp.
- LOUGHRAN, J., Milroy, P., Gunstone, R., Berry, A. y Mulhall, P. (2001). "Documenting science teachers' pedagogical Content Knowledge Trough PaP-eRs". *Research in Science Education*, Vol. 31, pp. 289-307.
- LOUGHRAN, J., Mulhall, P. y Berry, A. (2004). "In search of Pedagogical Content Knowledge in science: Developing ways of articulating and documenting professional practice", *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 41, Num. 4, pp. 370-391.
- MULHALL, P., Berry, A. y Loughran, J. (2003). "Frameworks for representing science teachers' pedagogical content knowledge", [En *Asia Pacific Forum on Science Learning and Teaching*. Volume 4, Number 2, Article 2. Acceso en Noviembre 5, 2006, de la URL http://www.ied.edu.hk/apfslt/v4_issue2/mulhall/index.htm#contents]
- PALMER, W. y Treagust, D. F. (1996). "Physical and chemical changes in textbooks: an initial view", *Research in Science Education*, Vol. 26, núm. 1, pp. 129-140.
- PAOLONI, L. (1979). "Towards a culture-based approach to chemical education in secondary schools: the role of chemical formulae in the teaching of chemistry", *European Journal of Science Education*, Vol. 1, núm. 4, pp. 365-377.
- POZO, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1997). *Aprender y enseñar ciencia*, Madrid: Morata.
- POZO, J. I. y Gómez Crespo, M. Á. (1997). "¿Qué es lo que hace difícil la comprensión de la ciencia? Algunas explicaciones y propuestas para la enseñanza", en Del Carmen, L. (coord.), *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria. Cuadernos de formación del profesorado*, 2da. Edición, Barcelona: ICE/Horsori, pp.73-105.
- RAVILOLO, A. y Garritz, A. (2005). "Decálogos e inventarios", *Educación Química*, Vol. 16, Num. extraord., pp. 106-110.
- REYES-C., F. y Garritz, A. (2006). "Conocimiento pedagógico del concepto de 'reacción química' en profesores universitarios mexicanos". *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, Vol. 11, num. 3, pp. 1175-1205.
- SHULMAN, L. S. (1986). "Those who understand: Knowledge growth in teaching", *Educational Researcher*, Vol. 15, núm. 2, pp. 4-14.
- SHULMAN, L. S. (1987) "Knowledge and teaching: foundations of the new reform". *Harvard Educational Review*, Vol. 57, pp. 1-22.
- SCHUMMER, J. (2004). "Editorial: substances versus reactions", *HYLE, International Journal for the Philosophy of Chemistry*, Vol. 10, núm. 1, pp. 3-4.
- STRÖMDAHL, H., Tulberg, A. and Lybeck, L. (1994). The qualitatively different conceptions of 1 mole. *International Journal of Science Education*, 16(1), 17-26.

- STRONG, L. E. (1970). "Differentiating physical and chemical changes", *Journal of Chemical Education*, Vol. 47, núm. 10, pp. 689-690.
- WATKINS, S. F. (2003). "Applying the reaction table method for chemical reaction problems (stoichiometry and equilibrium)", *Journal of Chemical Education*, Vol. 80, núm. 6, pp. 658-661.
- WEININGER, S. J. (2000). "Butlerov's vision. The timeless, the transient, and the representation of chemical structure", en N. Bhushan y S. Rosenfeld (eds.) *Of Minds and Molecules*, New York: Oxford University Press, pp. 143-161.
- YARROCH, W. L. (1985). "Student understanding of chemical equation balancing", *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 22, pp. 449-453.

Obstáculos para la construcción del concepto *reacción química*. Una propuesta para superarlos

Gisela Hernández Millán y Norma Mónica López Villa

Introducción

La reacción química es un tema fundamental en los programas de ciencia. Al igual que muchos otros, cuenta con sus propias dificultades de aprendizaje y por lo tanto también de enseñanza.

Por lo general, el tema reacción química se enseña partiendo de la diferenciación entre cambio físico y cambio químico, clasificación que no es conveniente incluir en el currículo de química, según Garritz (1997) y Borsese (1998), pues se pasa por alto que los fenómenos que estudiamos son de una mayor complejidad.

Luego se realizan experimentos sencillos en los que se destacan evidencias “inequívocas” de que ha sucedido una reacción: cambio de coloración, desprendimiento de un gas, enfriamiento o calentamiento del recipiente de reacción, explosiones, etcétera. Enseguida se asocian los fenómenos observados con la escritura de ecuaciones químicas y con una buena dosis de cálculos estequiométricos utilizando los términos mol, peso molecular, molaridad, pureza, rendimiento, etcétera, además de símbolos que remiten a las nociones de número de partículas, composición y proporcionalidad, aspectos que también presentan dificultades de comprensión para la mayoría de los alumnos(as).

En muchos libros de texto se generalizan una serie de criterios para identificar cuándo ha sucedido una reacción química y se hace la diferenciación entre cambios físicos y químicos:

Cambio físico	Cambio químico
No hay cambios de color o de estado de agregación	Hay cambios de color o de estado de agregación
Las propiedades de la sustancias se conservan	Las propiedades de la sustancias no se conservan
Son procesos reversibles	Difícilmente reversibles
Involucran poca energía calorífica	Están asociadas grandes cantidades de calor

Pero es relativamente fácil encontrar fenómenos que no se ajustan a los parámetros anteriores, por ejemplo los cambios de fase del agua, la deshidratación-hidratación del $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ o la desnaturalización de las proteínas; ¿cómo clasificar un fenómeno de esos?

Ubicar tales fenómenos en las definiciones anteriores causa más confusión que claridad si no se han analizado los alcances de esa clasificación. Es muy común que los alumnos sólo memoricen los ejemplos que sí encajan en ellas y que no logren analizar otros fenómenos más interesantes.

Consideramos que para comprender lo que pasa en una reacción química, no basta con que los alumnos realicen experimentos cuyo análisis no va más allá de la escritura y balanceo de ecuaciones químicas, de la realización de cálculos estequiométricos o de la clasificación de reacciones.

Pocos alumnos y colegas explican lo que sucede en una reacción química usando como herramienta el modelo cinético molecular. Nuestra experiencia al trabajar con alumnos de bachillerato, de los primeros semestres de la licenciatura en la Facultad de Química y con profesores de química que atienden los niveles básico (secundaria) y medio superior, así nos lo dice. Los profesores(as) reconocen que no hacen explícito a sus alumnos el nivel explicativo que usan (fenomenológico o simbólico) ni cuando pasan de uno a otro, lo que probablemente contribuya a que los estudiantes transfieran las propiedades de las sustancias a las propiedades de las partículas.

A continuación puntualizamos las principales dificultades en el aprendizaje de la química en general y del tema reacción química en particular y sugerimos una dinámica de enseñanza integral para este tema que, de acuerdo con Gillespie (citado en Garritz, 2006), es *el corazón de la química*.

Dificultades de aprendizaje en química

Según Bachelard (en Martín Del Pozo, 1998), el principal obstáculo en la construcción de conocimientos químicos es la tendencia a explicar los fenómenos químicos por las características o propiedades físicas de las sustancias, apareciendo así los obstáculos epistemológicos ligados a la influencia de lo perceptivo.

En la opinión de Johnstone (1993), los docentes estamos habituados a transitar cómodamente entre los niveles macro, submicro y representacional (simbólico) al pensar y explicar fenómenos químicos; mientras que nuestros alumnos no. Menciona también que la enseñanza tradicional de la química por lo general está relacionada solamente con los aspectos macroscópico y representacional dejando de lado al nivel submicroscópico (figura 1). De ahí las dificultades para que nuestros estudiantes comprendan nuestro discurso y lo que leen en los libros de texto.

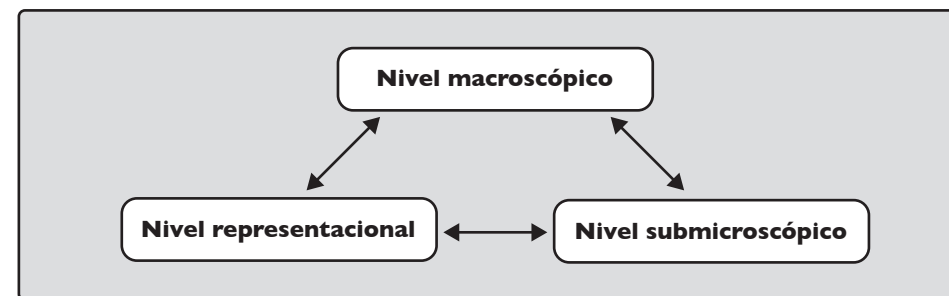


Figura 1

Por su parte, Caamaño (2003) señala que las concepciones alternativas y las dificultades de aprendizaje tanto en química como en otras ciencias, se pueden atribuir principalmente a tres factores: las dificultades intrínsecas de la disciplina, los procesos de razonamiento de los estudiantes y el proceso de instrucción recibido; es decir, a los contenidos, a la manera en que aprende el alumno y a la forma en que enseña el docente.

Respecto a la disciplina

Los diferentes niveles descriptivos de la materia (macroscópico, submicroscópico y simbólico) rara vez se hacen explícitos por el docente; se usan diferentes modelos y teorías para un mismo concepto con lo cual se confunde al alumno porque no se integran ni diferencian a lo largo de la enseñanza escolar. Influyen también:

- La ambigüedad del lenguaje químico respecto a los niveles descriptivos arriba mencionados.
- La ausencia de términos apropiados para un nivel estructural determinado, por lo que a veces se tiende a nombrar como moléculas a todas las sustancias.
- El significado múltiple o indeterminado de ciertos términos y fórmulas químicas, por ejemplo, número de oxidación y fórmulas de sustancias cuya estructura es una red tridimensional.
- Los términos cuyo significado varía según el contexto donde se ocupen, por ejemplo, ácido y base.
- Los términos cuyo significado es diferente en el entorno cotidiano y en química, por ejemplo, sustancia y pureza.
- Las limitaciones propias de los códigos con que se representan los diagramas y modelos de la estructura de las sustancias (círculos, líneas, lóbulos, etc.).

Respecto a los alumnos

En este rubro se incluyen las causas de las concepciones alternativas ligadas a la manera de razonar de los alumnos:

- La influencia de la percepción macroscópica en el análisis del mundo submicroscópico.
- La tendencia a transferir las propiedades macroscópicas de las sustancias a las propiedades submicroscópicas de las partículas.
- La tendencia a usar explicaciones metafísicas o teleológicas en vez de explicaciones físicas.
- El uso superficial del pensamiento analógico.
- La dificultad para transferir un concepto a un contexto distinto de aquel en el que se aprendió.
- La dificultad para comprender procesos que exigen ser pensados como una serie de etapas.
- La modificación de las características de los modelos para poder explicar determinados hechos, y
- La construcción de modelos híbridos alternativos para hacerlos compatibles con sus ideas previas.

Al respecto, Hierrezuelo y Montero (1988) afirman que a lo largo de nuestra vida nos enfrentamos con una gran cantidad de experiencias que, según la visión constructivista del aprendizaje, determinan la formación de nuestra estructura cognitiva; todas las personas interpretamos ciertos fenómenos (por ejemplo, los naturales) generando una estructura de conocimientos al margen de la enseñanza formal escolarizada, que por supuesto difiere del pensamiento científico.

Así que para comprender las concepciones alternativas de los alumnos(as) respecto a cuestiones científicas, es necesario conocer ese pensamiento “natural”. Algunas de sus características son:

1. El pensamiento está dominado por la percepción.

Inicialmente, los alumnos(as) basan su razonamiento en las características observables del problema en cuestión.

2. Existe una visión parcial de los fenómenos.

Por lo general, los alumnos sólo consideran aspectos limitados de un problema. Interpretan los fenómenos en términos de propiedades absolutas o cualidades de los objetos de estudio más que en términos de interacciones.

3. Las situaciones estables no necesitan explicación.

Los alumnos se fijan más en las situaciones que cambian que en las que permanecen, pues creen (les hemos enseñado a) que solamente hay que explicar los cambios.

4. Existe una dirección preferente en las transformaciones.

Cuando los alumnos explican los cambios, su razonamiento sigue una secuencia causal unidireccional.

5. Razonamiento no coherente.

Se interesan en explicaciones particulares para cada fenómeno específico. No les preocupan las contradicciones entre sus explicaciones para diversos fenómenos. Con su experiencia limitada y preocupados por una explicación específica, sólo se quedan con alguna de las explicaciones posibles.

6. Poca precisión en el lenguaje.

El lenguaje cotidiano que empleamos tiene a veces significados tan amplios que confunden. Durante el trabajo en el aula es recomendable precisar las diferencias entre el lenguaje cotidiano y el lenguaje científico, para no generar en los alumnos(as) una gran confusión en cuanto a los significados precisos del lenguaje científico.

En opinión de R. Martín Del Pozo (1998), la *sustancialización de las propiedades* de los reactivos es un razonamiento que ha persistido durante siglos. Esto implica un planteamiento del cambio químico como transformación de las propiedades de las que son portadoras las sustancias, sin admitir que el cambio sucede en su estructura.

Esta concepción la encontramos cuando por ejemplo un alumno observa que durante una reacción el reactivo que se calentó cambia de color verde a color negro y explica el cambio diciendo que antes y después tenemos a la misma sustancia sólo que ha cambiado de color.

Esta autora también señala otro razonamiento que también ha funcionado como obstáculo a la comprensión de las transformaciones químicas. Se trata de la postura *mecanicista*, bajo la cual se considera que lo que observamos durante una reacción química es consecuencia del cambio de forma, tamaño o movimiento de los átomos. Es decir, lo que cambia son las propiedades de los átomos y no la manera en que se unen.

Por otro lado, cabe mencionar que además de los aprendizajes no escolares, las concepciones alternativas pueden originarse durante la escolarización (sobre todo en química), pues como reportan García y Moro (2004) el rigor conceptual y didáctico que presentan algunos libros de texto es cuestionable.

Respecto a la enseñanza

La química es difícil de aprender porque durante el proceso de enseñanza ocurre lo siguiente:

- Al alumno se le presentan de forma acabada los conceptos y teorías.
- En los libros de texto se presentan teorías híbridas.
- Los docentes manejamos los conceptos en un contexto reduccionista de su significado.
- No se hacen explícitos los diferentes niveles de formulación de los conceptos.
- Se atiende poco y de manera superficial lo relativo a la estructura de las sustancias.
- Hay un uso inapropiado del lenguaje y no se mencionan sus limitaciones y ambigüedades.
- Se usan ejemplos sesgados que pueden llevar a conclusiones erróneas cuando se generalizan.
- Se usan códigos de representación gráfica con significado ambiguo.
- Frecuentemente se hace énfasis en el uso de algoritmos que no buscan la comprensión de los conceptos o procesos sino sólo su aplicación mecánica.
- El docente a veces emplea una secuenciación inadecuada de los conceptos que enseña.

Abundando en lo referente a las dificultades intrínsecas de la química, cabe mencionar lo que en opinión de Gómez Crespo (1992) son los tres núcleos o estructuras conceptuales que desde el punto de vista epistemológico son de gran importancia para la construcción de los conceptos y leyes de la química: la noción de discontinuidad de la materia, la conservación de la materia y la representación cuantitativa de las leyes fisicoquímicas y su aplicación práctica. Respecto a cada uno de estos núcleos menciona lo siguiente:

Noción de continuidad / discontinuidad de la materia

La asimilación de la naturaleza corpuscular de la materia es imprescindible para la comprensión e interpretación de los cambios químicos; esto es, para entender cómo a partir de unos determinados compuestos (reactivos) se obtienen otros totalmente diferentes (productos). En la interpretación de estos procesos, la noción de partícula nos permite explicar el cambio de unas sustancias a otras como una reordenación de los átomos de las sustancias participantes.

Conservación de las propiedades no observables de la materia

La conservación en química es un concepto directamente relacionado con la noción de discontinuidad de la materia, de modo que la asimilación de esta noción puede considerarse como

una condición necesaria pero no suficiente para llegar a comprender la conservación de la materia en los distintos cambios que puede sufrir.

Lo evidente es el cambio. Nuestro pensamiento tiende a centrarse más en lo que cambia que en lo que permanece, por ello debemos ir comprendiendo que tras los cambios que se observan hay algo que permanece. No se puede detectar a través de los sentidos lo que se conserva en un cambio químico, pues está relacionado con las minúsculas partículas que componen a las sustancias, para comprender lo que sucede durante una reacción es preciso emplear modelos explicativos.

Cuantificación de relaciones

En opinión de Gómez Crespo, aunque la aplicación cuantitativa de las leyes químicas es una de las partes más importantes de esta ciencia, es probablemente la más difícil para los estudiantes. Cuando los fenómenos químicos se interpretan a nivel microscópico, es decir en función de los átomos y moléculas que participan, es necesario conocer el número de partículas que intervienen en dichos procesos, lo cual implica la introducción del concepto de mol.

Problemática relacionada con la enseñanza y aprendizaje del tema reacción química

Furió y Furió (2000) afirman que para los alumnos adolescentes:

...el mundo de los átomos, moléculas, redes iónicas, etc., es el mismo mundo macroscópico de los materiales y las sustancias pero en diminuto. No comprenden que existen distintos niveles de descripción de la materia en íntima relación: el nivel macroscópico de las sustancias con sus propiedades y cambios y, por otra parte, el nivel microscópico¹ de aquellas mismas sustancias que la Química modela a base de átomos, iones o moléculas.

Estos mismos autores describen como una segunda característica del pensamiento de esos estudiantes, el que como seres sociales acepten las ideas que están asumidas en su entorno cultural, particularmente aquellas que son transmitidas mediante el lenguaje (libros, medios de comunicación, etc.).

Tales ideas se aceptan como evidencias de “sentido común” a pesar de que no son aceptadas por la ciencia; por ejemplo, es muy común la asociación entre *flotación* y *falta de peso* (explicación

que se da al hecho de que un astronauta “flota” en la superficie lunar), si esa idea se extrapola a otros contextos, puede ocasionar que los alumnos infieran que en aquellas reacciones químicas donde se aprecia la “desaparición” de fases sólidas y líquidas o la formación de gases, no se conservará la masa (que para ellos es sinónimo de peso).

R. Driver et. al. (1992), opinan que para comprender lo que sucede durante una reacción química, es necesario comprender (y agregaríamos: creer en) la atomicidad e indestructibilidad de la materia. Citan la categorización que Andersson realizó en 1984, referente al modelo general de la comprensión infantil de las reacciones químicas:

1. *Así suceden las cosas*: los niños no se plantean si tiene lugar una reacción química al oxidarse unos clavos de hierro o al arder una tabla.
2. *El desplazamiento de materia*: los niños afirman que, cuando se produce un cambio, una sustancia nueva aparece sencillamente porque ha venido de otro sitio; el humo formado al arder la madera se considera que sale de la misma empujado por la llama.
3. *Modificación*: en este caso se estima que la nueva sustancia es la original, pero en forma diferente. Algunos niños hablaban de este modo al referirse a la combustión de una madera, diciendo que la ceniza era aún la misma tabla, pero en una forma distinta.
4. *Transmutación*: aquí se considera que la materia original se transforma en otra completamente nueva.
5. *Interacción química*: desde esta perspectiva, se considera que las sustancias están compuestas por átomos de distintos elementos. Las nuevas sustancias pueden estar formadas por la disociación o la recombinación de los átomos de las materias originales.”

Desaparición, desplazamiento, modificación y transmutación son modelos de explicación compatibles con la idea de la materia como estática y continua.

Además, Driver et. al. (1992) señalan que aunque los alumnos asimilen los conceptos y representaciones de átomos y moléculas que les enseñan en la escuela, cuando deben explicar algún fenómeno, no utilizan lo anterior sino sus ideas intuitivas derivadas de la experiencia. Así que el punto importante de este asunto, no es si los alumnos entienden o no los conceptos y modelos teóricos escolares, sino más bien, si pueden usarlos para interpretar los hechos que observen.

Por su parte, Furió y Furió (2000) citan que los resultados que R. Barlet y D. Plouin obtuvieron en 1997, muestran que hay ciertos obstáculos de aprendizaje vinculados con la dualidad

macro-submicro en el aprendizaje de los temas: mecanismos de reacción, estereoisomería, estabilidad y reactividad química y la presión y volumen en gases, y confirman su origen en la persistencia de las ideas de “sentido común” y la ausencia de “conciencia microscópica” de aquellos alumnos que no utilizan el modelo corpuscular de la materia en la explicación de fenómenos macroscópicos.

Otro obstáculo a vencer por los alumnos para comprender los cambios químicos, consiste en aprender significativamente el concepto macroscópico de sustancia química y saber diferenciarlo del de mezcla ya que muchos consideran que una mezcla de sustancias es lo mismo que un compuesto.

A continuación se mencionan algunas concepciones alternativas reportadas en la bibliografía², referentes al tema reacción química, mismas que tendrían que considerarse para diseñar o seleccionar estrategias de enseñanza. Se han agrupado de acuerdo a lo que evidencian.

Aquellas que mencionan evidencias de una reacción química

1. Sólo sucede una reacción química cuando hay una explosión.
2. Sucede un cambio químico cuando desaparece una sustancia.
3. En un cambio físico, la sustancia transformada es capaz de volver a su estado inicial; un cambio químico se asocia con la idea de irreversibilidad.
4. A una reacción química corresponden cambios a nivel macroscópico.

Las que dicen qué cambia en un cambio químico

5. En un cambio químico no cambia la estructura microscópica de una sustancia, lo que cambia son sus propiedades.
6. Ni los átomos ni la masa se conservan necesariamente en una reacción química.
7. La masa del sistema no cambia en una reacción de combustión (la masa de las cenizas de madera es la misma que la de la tabla inicial, tan solo ha cambiado de aspecto).
8. En una combustión, la masa disminuye porque se escapa un gas; o porque las cenizas resultantes son más ligeras que la madera.
9. En una combustión, se forman productos porque se ha transformado la sustancia inicial, la sustancia permanece pero adoptando otra forma.
10. En la oxidación de un clavo, la masa aumenta porque el metal se convierte en carbón (más pesado).

Las que hablan de las condiciones para que suceda una reacción química

11. Las reacciones químicas son la consecuencia de mezclar sustancias.
12. Las reacciones químicas requieren un agente causal, activo y externo.
13. En algunas reacciones, uno de los reactivos es el causante de que la reacción ocurra (el metal más activo, el ácido más fuerte, etc.). Son resultado de que un agente activo actúe sobre uno pasivo.
14. La fuerza motriz en una reacción química es la diferencia en la reactividad de los reactivos.
15. Las reacciones químicas siempre proceden completamente.
16. Cuando se involucran llamas (un mechero), el calor proporcionado (absorbido) es la fuerza que hace que las reacciones ocurran.
17. En los seres vivos no suceden reacciones químicas.
18. La energía producida en una reacción química se genera por la destrucción de átomos.

En las que los alumnos mencionan ejemplos de reacciones químicas

19. La disolución de cloruro de sodio en agua es un proceso químico porque el Na y el Cl se separan (hay ruptura del enlace).
20. La disolución de cloruro de sodio en agua es un proceso físico porque si se quita el agua otra vez se obtiene la sal (reversibilidad).

De acuerdo con V. Kind (2004), para los estudiantes es difícil reconocer cuándo ocurre una reacción química porque muchos no distinguen de manera consistente entre un cambio químico y un cambio de estado.

Retomando los aspectos señalados en la bibliografía y nuestros hallazgos al preguntar sobre el tema reacción química a colegas y alumnos, presentamos a continuación una propuesta de enseñanza que pretende contribuir a resolver algunas de las dificultades anteriormente señaladas.

Propuesta de enseñanza

Tomando en cuenta los niveles de dificultad señalados para la química, nuestra propuesta de enseñanza para el tema *reacción química* consiste de varias etapas (López, 2007), que a continuación se describen:

- a) Detectar las concepciones alternativas de los alumnos(as), a partir de diversas actividades (cuestionarios, ejercicios de asociación de palabras o experimentos).
- b) Realizar experimentos sencillos (como demostraciones de cátedra o prácticas de laboratorio) para saber si los alumnos(as) emplean el modelo corpuscular en su explicación de los fenómenos observados, primero de manera individual y posteriormente integrándolos en una dinámica de aprendizaje colaborativo.
- c) Coordinar sesiones de discusión plenaria en las que se analicen las respuestas de cada equipo, para acordar de manera grupal qué características tienen las concepciones acertadas y las alejadas de la concepción científica.
- d) Durante la explicación del tema reacción química, partir de las evidencias tangibles y retomar las concepciones expresadas por los alumnos(as) en el ejercicio anterior. Aclarar en qué momento se trabaja con hechos, con símbolos y qué suposiciones se basan en el modelo corpuscular (nivel submicroscópico). Señalar siempre que sea posible qué enlaces se rompen y qué enlaces se forman. Reforzar las explicaciones con imágenes para favorecer la adquisición de nociones correctas.
- e) Proponer una serie de ejercicios y problemas (de complejidad gradual) en los que el alumno(a) deba analizar un fenómeno y ofrecer una explicación convincente. Se trata de que argumenten lo mejor posible sus ideas, las comparen con otras y puedan detectar en qué están fallando.
- f) Elaborar un sistema de evaluación tal, que permita al docente tener claridad en cómo van evolucionando las concepciones de los alumnos(as) para ofrecerles una orientación más eficaz y oportuna.

Con la finalidad de realizar un trabajo sistemático, proponemos también que el docente lleve un registro detallado (bitácora) de todas las estrategias que ponga en marcha, señalando claramente los propósitos de cada actividad. Si de esta dinámica se deriva un trabajo colegiado permanente, la retroalimentación de experiencias podría facilitar la elaboración de estrategias más completas y exitosas. En seguida se describen algunas etapas de esta propuesta didáctica.

Detección de ideas previas

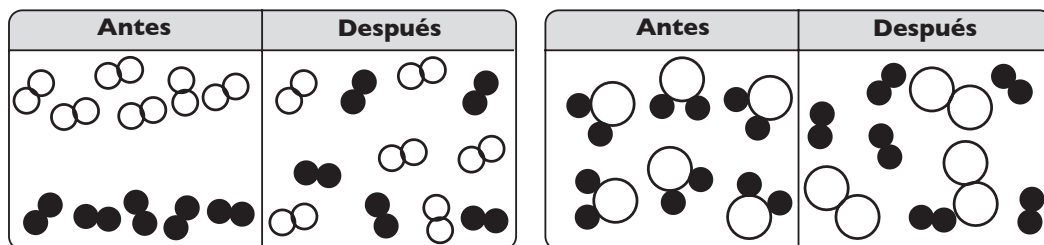
Para conocer las ideas que tienen los estudiantes acerca de lo que es una *reacción química*, se sugiere aplicar un cuestionario en el que se pregunten aspectos como los siguientes:

1. Cuando escuchamos la palabra “vacaciones” pensamos en playa, amigos o diversión.

¿En qué te hacen pensar las palabras “reacción química”?

2. ¿Cuál de los siguientes esquemas representa a una reacción química?

¿Por qué?



Esquema 1.

Esquema 2.

De sus respuestas se pueden extraer los conceptos que utilizaron, escribir un listado de ellos en el pizarrón, incluir algunos que sean importantes y que no se hayan mencionado y solicitarles que con esos términos elaboren un mapa conceptual. Mediante el análisis de cómo relacionan los conceptos anteriores, se puede tener una idea global de las ideas que tienen nuestros estudiantes respecto a este tema.

Explicación en el nivel macroscópico

Lo que nos interesa en este punto es que los estudiantes se den cuenta que en un cambio químico se forman nuevas sustancias, diferentes a las de partida en sus propiedades físicas y químicas.

Se pueden presentar una serie de reacciones en las que se haga énfasis en caracterizar el estado inicial y final del sistema al mismo tiempo que se reflexiona acerca de cuál es la evidencia que nos indica que está ocurriendo una reacción química, y si con ella basta.

En este sentido, De Vos et. al (1985) han reportado una serie de reacciones vistosas que se pueden utilizar para este propósito.

A continuación, se muestra a los alumnos el siguiente cuadro (Robinson, 1999) en el que se aprecian los factores que tienen en común algunos cambios físicos y cambios químicos:

Fenómeno	¿Hay cambio en la forma?	¿Cambia el color?	¿Requiere calentamiento?	¿Cambia el estado de agregación?	¿Algo desaparece?
Quemar madera	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Disolver sal en agua	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Fundir hielo	Sí	No	Sí	Sí	No
Calentar hierro al rojo vivo	No	Sí	Sí	No	No

Características visibles de un cambio químico y tres cambios físicos

Al analizar con ellos la información anterior, se hace notar que los cambios químicos y físicos presentan características en común, por lo cual no se puede asegurar que ha ocurrido una reacción química basándose únicamente en aspectos fenomenológicos. Además, es importante discutir con ellos sobre la necesidad de caracterizar a las sustancias que se forman en una reacción pues es lo que nos asegura que ha ocurrido un cambio químico; a partir de lo cual se pueden analizar también los métodos para caracterizar a las sustancias.

Explicación en el nivel submicroscópico

La explicación de lo que sucede en una reacción química a este nivel, se puede conducir con una actividad experimental como la que se describe.

En una caja Petri cuyo fondo se ha cubierto con agua destilada, se colocan al mismo tiempo pequeñas cantidades de dos sustancias sólidas que al reaccionar produzcan un compuesto colorido y/o insoluble en agua, por ejemplo, se pueden hacer reaccionar cloruro de hierro(III) y tiocianato de amonio, sin revelar su identidad a los alumnos. Al cabo de unos segundos se observa la formación de una mancha de color rojo intenso (tiocianato de hierro (III)). Se pide a los estudiantes que de manera individual realicen una descripción del fenómeno observado y que además dibujen esquemas que expliquen los cambios que han observado, pero a nivel de partículas.

Aunque el propósito de esta actividad es que observen un fenómeno químico y traten de explicarlo, es muy común que los alumnos pregunten qué se puso en la caja Petri.

Con esta actividad se conoce lo que los alumnos piensan respecto a lo que sucede a nivel de las partículas en un cambio químico.

Es conveniente conducir la discusión hacia la explicación del fenómeno utilizando el modelo cinético corpuscular para la explicación del fenómeno. Con ello, podemos ayudar a los alumnos a aceptar el modelo que indica que las reacciones químicas ocurren porque las partículas se están moviendo y cuando se “golpean” con la energía suficiente y en la dirección o ángulo adecuado, los átomos se reorganizan formando sustancias diferentes a las de partida.

Con lo anterior se conduce a la reflexión de que la masa se conserva en un cambio químico porque los átomos de los elementos químicos involucrados en las transformaciones se conservan.

Nivel representacional o simbólico

A veces se olvida que el lenguaje que se usa en las aulas de química para explicar los fenómenos, no es obvio para los alumnos y que ellos están aprendiendo un nuevo lenguaje, lo cual implica el aprendizaje de términos y símbolos que no les significan mucho, como por ejemplo: s, l, g, ac, \rightarrow , \oplus , \leftrightarrow , \uparrow , \downarrow , Δ .

Para enseñar esta parte, recomendamos hacer énfasis en que los estudiantes asocien siempre fórmulas de sustancias con su nombre químico así como la realización de ejercicios que impliquen la traducción del lenguaje simbólico al lenguaje materno y viceversa. Por ejemplo, trabajar en ejercicios como los siguientes:

- Escribe una ecuación química para decir: cuando el carbonato de cobre (II) sólido se calienta, se obtiene el sólido llamado óxido de cobre (II) y dióxido de carbono gaseoso.
- Escribe un enunciado para la traducción al español de la ecuación siguiente:

$$2 \text{H}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} (\text{g})$$

Una vez que el alumno(a) cuenta con la representación de ecuaciones químicas, puede comprender mejor el reordenamiento de los átomos en una reacción química complementándola con la elaboración de esquemas que muestren cómo piensa que están los átomos participantes antes y después del cambio químico (figura 2).

Consideramos que es muy importante tender puentes entre el mundo macroscópico y el submicroscópico de manera que el estudiante pueda hacer una reflexión integral respecto a las reacciones químicas. Por tal motivo se sugiere preguntar: ¿Se conserva la masa en una reacción química? Para contestar a esto se realiza un experimento en un sistema abierto y se

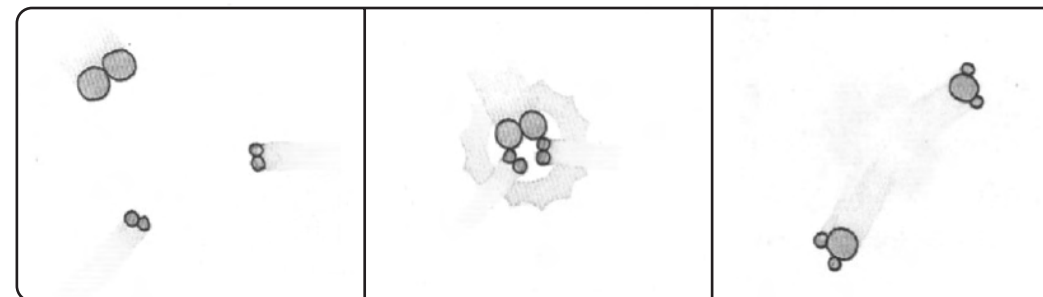


Figura 2 Representación de la reacción de síntesis del agua a nivel submicroscópico.

repite pero ahora en un sistema cerrado, para reacciones en las que se forme una sustancia gaseosa. Con esta actividad se contribuye al desarrollo de un cuarto nivel explicativo en química: el nivel cuantitativo.

Orientaciones para la evaluación

Como la intención es saber si el alumno(a) distingue y domina los diferentes niveles explicativos para reacción química, se pueden trabajar cuestiones como las siguientes:

1. Asignar a cada equipo de alumnos la realización de una reacción y como resultado pedir que elaboren una explicación de lo observado (abarcando y diferenciando los tres niveles explicativos anteriormente mencionados) y la expongan al resto del grupo.
2. Escribe una ecuación química, tradúcela al español (descripción con palabras) y además a un esquema (dibujo) que explique lo que crees que sucede a nivel de partículas durante la reacción que elegiste.
3. Pedir a algunos que describan con palabras varias reacciones, las pasen a otros que deberán traducirlas a una ecuación química y éstos a otros que deberán dibujar esquemas de partículas correspondientes.
4. Relatarles reacciones químicas (o mostrarles una foto) y pedir que escriban esquemas de partículas. Presentarles esquemas y pedir como respuesta una ecuación química.

Notas

¹ Más bien submicroscópico, nanoscópico o atómico. Además se agregaría el nivel simbólico, según la propuesta de Johnstone (1993).

² Información obtenida de www.ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048

Referencias

- CAAMAÑO, A. (2003), *La enseñanza y el aprendizaje de la química*, en Enseñar ciencias n° 176, Graó, Madrid, 212-221.
- CARUSO, M. F., Castro, M., Domínguez C., J., García-Rodeja, E., Iturralde, C., Rocha, A. y Scandrolí, N. (1998), Construcción del concepto de reacción química, *Educación Química*, 9 [3], 150-154.
- DE POSADA, J.M. (1999), Concepciones de los alumnos sobre el enlace químico antes, durante y después de la enseñanza formal. Problemas de aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (2), 227-245.
- DEVOS, W. y Verdonk, A. H. (1985), A new road to reactions. Part I. *Journal of Chemical Education*, 62 (3), 238-240.
- DEVOS, W. y Verdonk, A. H. (1985), A new road to reactions. Part II. *Journal of Chemical Education*, 62 (8), 648-649.
- DE VOS, W. y Kostka, K. (1999), Using Large Glass Cylinders To Demonstrate Chemical Reactions, *Journal of Chemical Education*, 76 (4), p 528.
- DRIVER, R.; Guesne, E. y Tiberghien, A. (1992), *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Ediciones Morata, Madrid, págs. 256-257.
- FURIÓ, C. y Furió, C. (2000), Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos, *Educación Química*, 11 [3], 300-308.
- GARCÍA, M. B. y Moro, L. E. (2004), Revisión crítica de los libros de texto de ciencias naturales utilizados en las escuelas de enseñanza general básica, *Educación Química*, 15 [3], 281-285.
- GARRITZ R., A. (1997) *La química y los contenidos escolares*, en Contenidos Relevantes de Ciencias Naturales para la Educación Básica (antología), Fundación SNTE, México, 19-38.
- GARRITZ, A. y Trinidad-Velasco, R. (2006), *El conocimiento pedagógico de la estructura corpuscular de la materia*; *Educación Química*, 17, n° extraordinario, julio del 2006, 236-263.
- GÓMEZ CRESPO, M. A. (1992), La estructura de los conocimientos previos en Química: una propuesta de núcleos conceptuales. *Investigación en la Escuela* n° 18, 23-40.
- HIERREZUELO M., J. y Montero M., A. (1988), *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la Física y Química*, editorial Laia, Ministerio de Educación y Ciencia, Barcelona, España. Capítulos 1, 9 y 10.
- <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048>

- JOHNSTONE, A. H. (1993), The development of Chemistry teaching. A changing response to changing demand, *Journal of Chemical Education*, 70 (9), 701-705.
- LÓPEZ V., N. (2007), *Reacción química: obstáculos epistemológicos y propuesta de enseñanza*, Tesis de Maestría, Facultad de Química, UNAM, México. Documento inédito.
- KIND, V. (2004), *Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química*. Aula XXI, Santillana, México, capítulo 5.
- MARTÍN DEL POZO, R. (1998), La construcción didáctica del concepto de cambio químico. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales* n° 17, 65-75.
- NAKHLEH, M. B. (1992), Why some students don't learn Chemistry. Chemical misconceptions, *Journal of Chemical Education*, 69 (3), 191-196.
- ROBINSON, W. R. (1999), A view of the science education research literature: Student understanding of chemical change, *Journal of Chemical Education*, 76 (3), 297-298.

Los autores

Silvia Bello Garcés

Química, de la Facultad de Química de la UNAM, con estudios de Maestría en Química Inorgánica, en la Universidad de Illinois. 43 años de trabajo académico en docencia, investigación y difusión. Alrededor de 40 cursos de actualización o superación impartidos a profesores de nivel secundaria, bachillerato y licenciatura, en México y en otros países. Alrededor de 95 trabajos de investigación presentados en congresos nacionales e internacionales. Cuenta con artículos en revistas nacionales e internacionales arbitradas, libros de texto para Secundaria, traducciones de libros de texto para bachillerato y licenciatura y revisiones técnicas de libros para este último nivel.

José Antonio Chamizo Guerrero

Cursó la licenciatura y la maestría en la Facultad de Química de la UNAM y el doctorado en la School of Molecular Sciences de la University of Sussex, Inglaterra. Profesor de la Facultad de Química desde 1977, ha publicado más de ochenta artículos arbitrados sobre química, educación, historia y divulgación de la ciencia. Es además autor o coautor de más de treinta capítulos en libros y de cuarenta libros de texto y divulgación. Actualmente es el coordinador del Seminario de Investigación Educativa.

Alejandra García Franco

Ingeniera Química de formación, profesora de bachillerato y estudiante del doctorado en Pedagogía en la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM. Sus principales intereses se encuentran en la investigación sobre los procesos de aprendizaje de los estudiantes de secundaria y bachillerato en el área de química y en la formación de profesores para la enseñanza preuniversitaria.

Andoni Garritz Ruiz

Ingeniero Químico, Maestro en Ciencias Químicas (Fisicoquímica) y Doctor en Ciencias Químicas por la UNAM. Fue Director de la Facultad de Química de la UNAM de 1993 a 1997, donde lleva 37 años dando clase. Actualmente en el Seminario de Investigación Educativa de la Facultad es responsable de la línea de investigación "La dimensión educativa Ciencia-Tecnología-Sociedad de la química: una forma de dar la clase en contexto.". Dedicado a la investigación en didáctica de la química desde 1984. Entre otras distinciones, recibió el Premio Universidad Nacional en el área de

'Docencia en Ciencias Naturales' en 1996. Tiene varios libros de texto y de divulgación publicados, el último la Química Universitaria de Pearson Educación en el año 2005. Es el director de la revista Educación Química, que acaba de cumplir 20 años de vida.

Rosa Margarita Gómez Moliné

Química, egresada de la Escuela Nacional de Ciencias Químicas de la UNAM y Doctora en Didáctica de las Ciencias por la Universidad Autónoma de Barcelona. Profesora de la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán (UNAM) de Q. Analítica y de Q. General desde 1974. Además ha impartido cursos para formación de profesores en Enseñanza de las Ciencias. Las líneas de investigación que sigue son: Identificación de obstáculos de tipo cognitivo en los estudiantes de la FES-C: Propuestas para su superación y Los ejes transversales en los nuevos currículos. Los resultados se han presentado en Congresos y en publicaciones especializadas.

Gisela Hernández Millán

Estudió la carrera de Química y la Maestría en Físicoquímica en la Facultad de Química de la UNAM. Durante los últimos veinte ha participado en programas de actualización y formación de profesores del nivel bachillerato y licenciatura de todo el país. Ha diseñado programas de diplomados y maestrías dirigidos a estos profesores. Ha impartido más de 40 cursos a profesores de toda la república, con énfasis en la didáctica de la disciplina. Ha escrito libros de teoría y laboratorio, para el nivel secundaria y superior. Tiene publicaciones nacionales e internacionales en revistas arbitradas. Es subdirectora de la revista "Educación química" y participa como árbitro de otras revistas latinoamericanas. Ha presentado más de cien trabajos en congresos relacionados con la educación, tanto nacionales como internacionales.

Alfredo César Herrera Hernández

Estudió la carrera de Químico Farmacéutico Biólogo en la Facultad de Química, obtuvo el título de Maestro en Docencia para la Educación Media Superior de la UNAM. Ha participado en proyectos de investigación educativa desde que se encontraba en la licenciatura. Su eje de investigación se centra en el estudio del enlace químico tanto en el nivel bachillerato como en el nivel universitario, con miras al diseño de estrategias para el proceso de enseñanza-aprendizaje. Es coautor de varios trabajos de investigación presentados en congresos nacionales e internacionales. Es docente en el Colegio de Ciencias y Humanidades y en el Instituto de Educación Media Superior del Distrito Federal.

alfhh@yahoo.com

Maria Patricia Huerta Ruíz

Estudios de licenciatura y pasante de la maestría en Docencia en Educación Media Superior (MADEMS) en la Facultad de Química de la UNAM. Profesora de asignatura B definitiva de la Escuela Nacional Preparatoria. Experiencia docente en niveles medio y medio superior. Coordinadora de docencia. Además de los cursos regulares para alumnos, ha tenido participación en diversas comisiones: banco de reactivos, guías de estudio, jurado calificador en concursos de la ENP, cursos y asesorías extracurriculares para alumnos, etc.

Glinda Irazoque Palazuelos

Ingeniera química y maestra en ciencias (físicoquímica) por la UNAM. Tiene un diplomado en Educación de la Universidad Autónoma de Madrid. Realizó investigación experimental en el área de fisicoquímica de superficies y a partir de 1990 se dedica a la educación y la divulgación de las ciencias. Sus líneas de investigación son enseñanza experimental y resolución de problemas. Ha impartido diversos cursos de diplomado y maestría para profesores de bachillerato y secundaria. Es asesora de la sala de química del Museo Universum y del Museo de la Luz. Tiene varias publicaciones; 10 libros de texto y divulgación, tres capítulos de libros, 20 artículos en revistas nacionales e internacionales y ha impartido más de 90 conferencias.

Norma Mónica López Villa

Profesora de la Facultad de Química de la UNAM desde hace 13 años. Es egresada de la carrera de química y pasante de la Maestría en Docencia para la Educación Media Superior (MADEMS) en la misma institución. Ha impartido numerosos cursos y talleres sobre contenidos básicos de química y sobre la didáctica de dicha disciplina a profesores que atienden la Secundaria y el Nivel Medio Superior en varios estados de México. Es coautora de dos libros de química para secundaria y miembro activo de la Academia Mexicana de Profesores de Ciencias Naturales desde el año 2000.

Elizabeth Nieto Calleja

Cursó la licenciatura y Especialización en Docencia en Química Analítica en la Facultad de Química de la UNAM. Es profesora de la facultad desde 1974, ha impartido cursos de actualización a profesores de nivel básico, bachillerato y licenciatura. Ha publicado artículos en revistas mexicanas y extranjeras arbitradas, libros de texto para secundaria. Ha desarrollado trabajos en enseñanza experimental en licenciatura.

Pilar Rius de la Pola

Licenciatura, maestría y candidato a doctor en Química, doctorado en Educación. Directora de la Escuela de Farmacia de la Universidad Femenina de México. Más de 300 cursos curriculares impartidos en 58 años de docencia, desde secundaria, hasta posgrado, y alrededor de 100 de formación y actualización. Dirección de 60 tesis de licenciatura y carreras técnicas. Profesor invitado en las universidades John's Hopkins y Complutense. Más de 50 trabajos y dos plenarias en Congresos Nacionales e Internacionales, 40 publicaciones en investigación y difusión. Premio Nacional de Química "Andrés Manuel del Río" 1987, en docencia.

Flor de María Reyes Cárdenas

Es Ingenieria Química y Maestra en Pedagogía por la UNAM. Se ha dedicado por varios años a la enseñanza de las ciencias y las matemáticas en diferentes equipos interdisciplinarios de trabajo. Ha colaborado en investigaciones con un enfoque en enseñanza de la química en las líneas de conocimientos básicos, perfiles y orígenes de las concepciones de ciencia de los profesores, las concepciones alternativas de los estudiantes y el conocimiento pedagógico del contenido.

florreyes@gmail.com

Plinio Sosa Fernández

Cursó la licenciatura, la maestría y el doctorado en la Facultad de Química de la UNAM. Su trayectoria académica iniciada en 1981, incluye la impartición de un sinnúmero de cursos tanto para bachillerato, licenciatura y posgrado así como para la formación de profesores; el diseño y revisión de cursos y planes de estudios en todos los niveles; y el arbitraje de libros, artículos y ponencias en química y en educación. Tiene más de 60 publicaciones (12 libros y 49 artículos sobre química y divulgación de la química). Actualmente es el Jefe del Departamento de Química Inorgánica y Nuclear de la Facultad de Química.

Esta obra es de carácter digital
y su distribución es gratuita.
Enero de 2009.