

# Las imágenes en el aprendizaje y en la enseñanza del equilibrio químico

Andrés Raviolo\*

## Abstract (*The images in learning and teaching chemical equilibrium*)

In this article the role of propositions, images and mental models in chemistry learning and chemical equilibrium learning is discussed. Some results of the research carried out with first year university students, and the analyses of representations from mental model, domain theories and implicit theories approach, are presented. It is shown how the origin of the most encountered difficulties arises from the common teaching features. Starting to reflect on the paper the students' images play during the learning, and the images used in teaching, several didactic alternatives are given.

## Proposiciones, imágenes y modelos mentales

Las personas no captamos el mundo directamente, sino construimos representaciones mentales o cognitivas del mismo. Estas son representaciones internas o maneras de "re-presentar" internamente, en la memoria de trabajo y en la memoria de largo plazo, al mundo externo. Aprender un sistema químico, por ejemplo, requiere construir las representaciones mentales adecuadas para comprenderlo, para explicar su funcionamiento y predecir su evolución con relación a teorías de la química.

La teoría de Johnson-Laird (1983 y 1996) distingue tres clases de representaciones mentales: proposiciones, imágenes y modelos mentales. Esta clasificación es útil para analizar las representaciones en el campo del aprendizaje de las ciencias y, en particular, como se muestra adelante, del tema equilibrio químico.

En este triple código representacional, las proposiciones son concebidas como representaciones de significados, totalmente abstraídas y verbalmente expresables; en cambio, las imágenes son repre-

sentaciones analógicas con una similitud estructural con aquello que representan. Además, las representaciones proposicionales se diferencian de las imágenes en que: son amodales, no están ligadas a una modalidad sensorial; son discretas, se componen de elementos discretos, en cambio las imágenes son continuas; son semánticas, dado que representan conceptos y relaciones entre ellos (Otero, 1999).

Las imágenes solas no permiten explicar las características de un sistema y extraer conclusiones, ni las proposiciones ser evaluadas como verdaderas o falsas, es necesario que formen parte de un modelo mental. Los modelos mentales son representaciones analógicas de conceptos, objetos o eventos, que actúan como modelos de trabajo, que permiten al sujeto razonar sobre el funcionamiento de las cosas. Los modelos mentales capacitan a los individuos a realizar inferencias y predicciones, a comprender fenómenos, a experimentar eventos, a decidir acciones y controlar su ejecución. Con ello, el razonamiento tendría no sólo un soporte lógico sino también uno analógico.

El uso de la palabra "modelo" para hacer referencia a este tipo de representaciones no es arbitrario dado que, al igual que los modelos en ciencias, son analógicos (presentan una analogía estructural y funcional con respecto a lo que representan), son simplificados e incompletos (se reducen a los aspectos más relevantes de la situación referida), son limitados (su construcción y manipulación está limitada por la capacidad de la memoria de trabajo) y, también, son dinámicos (están sometidos a cambios permanentes).

Los modelos mentales pueden ser completamente analógicos o parcialmente analógicos y parcialmente proposicionales. Que sea analógico se traducirá en que la persona posee una comprensión más cualitativa del fenómeno, basada en la utilización de imágenes mentales, que en general se expresan en explicaciones mediante dibujos o movimientos corporales. En el otro caso, el proposicional, puede traducirse en que la persona maneje definiciones y relaciones matemáticas, que no significa que pueda interpretarlas a la luz de un modelo (Greca y Moreira, 1996).

---

Conferencia semiplenaria presentada en las IV Jornadas Internacionales para la Enseñanza Preuniversitaria y Universitaria de la Química, Mérida, Yucatán, México, 15-18 noviembre, 2005.

\* Universidad Nacional del Comahue. Bariloche. Argentina. araviolo@bariloche.com.ar

### Concepciones alternativas sobre el equilibrio químico

En el marco de una investigación amplia referida a la enseñanza y aprendizaje del equilibrio químico se administró un instrumento escrito a más de 700 estudiantes universitarios de primer año de diversas universidades: Universidad Complutense de Madrid, Universidad de Buenos Aires y Universidad Nacional del Comahue.

El instrumento utilizado fue el Test de Proposiciones sobre el Equilibrio Químico –TPEQ– (Raviolo y otros, 2001), construido a partir de las proposiciones utilizadas en entrevistas por Hackling y Garnett (1985). Del análisis de los resultados se definieron seis concepciones alternativas:

1. “La velocidad de la reacción directa se incrementa desde la mezcla de los reactivos hasta que el equilibrio se ha establecido”.
2. “En la nueva situación de equilibrio, hacia la que evoluciona el sistema desde una situación de equilibrio inicial que fue perturbada, las concentraciones tienen el mismo valor que en el equilibrio inicial”.
3. “En la nueva situación de equilibrio, hacia la que evoluciona el sistema desde una situación de equilibrio inicial que fue perturbada, las velocidades tienen el mismo valor que en el equilibrio inicial”.
4. “Si la velocidad de reacción directa aumenta, la velocidad de la reacción inversa debe disminuir y viceversa, ante cambios en las condiciones del sistema en equilibrio”.
5. “La constante de equilibrio permanece inalterable ante cambios de la temperatura”.
6. “El catalizador actúa sólo en un sentido”, “El catalizador decrece la velocidad inversa”.

¿Cómo se originan estas concepciones alternativas?, ¿cuáles son los modelos mentales de los alumnos a la luz de los cuales pudieron interpretar las proposiciones del TPEQ como verdaderas o falsas?, ¿cuáles son las imágenes asociadas a los modelos mentales que mantienen sobre el equilibrio químico? Para contestar estas preguntas se realizaron entrevistas en profundidad.

### Resultados de entrevistas: modelos mentales

Se entrevistaron a 42 alumnos de la UCM de primer año de las carreras de licenciaturas en biología y geología y a siete alumnos de la UNC de las carreras de licenciatura en biología e ingeniería.

Las entrevistas partieron de una cuestión que se presentaba a los alumnos y se daba un tiempo para que las pensarán y contestaran. Se utilizaron dos cuestiones, la primera hizo referencia a las características del sistema en equilibrio químico (origen, condiciones, composición) y la segunda a la evolución del sistema ante una perturbación. Esta segunda cuestión es a la que se ha prestado mayor atención en la investigación; sin embargo, muchas dificultades que surgen en ella parecen originarse en el desconocimiento de las características del sistema en equilibrio.

El entrevistador conduce con preguntas adecuadas que llevan a los estudiantes a describir, explicar y predecir, a poner en juego las tres funciones de sus modelos. También periódicamente, tomando en cuenta las respuestas dadas por los estudiantes, les expresa en forma sintetizada la concepción que aparentemente está sosteniendo el entrevistado (a la luz del conocimiento sobre las concepciones alternativas reconocidas), con el fin de que él mismo la corrobore, amplíe o rechace. Esto, junto con la permanente solicitud de dibujos, de la imagen interiorizada del fenómeno, permite analizar los resultados desde la perspectiva de los modelos mentales.

Entre los resultados de las entrevistas se destaca que muchos estudiantes conciben al equilibrio químico como compartimentado; es decir, que los reactivos se encuentran en un recipiente (el de la izquierda) y los productos en otro (a la derecha). Otros sostienen la concepción de un equilibrio pendular: primero se completa la reacción directa y luego la inversa y así sucesivamente:

**E** (entrevistador): ¿Cuándo empieza a ocurrir la reacción inversa?

**P:** Cuando ya no quedan más moléculas libres de  $I_2$  e  $H_2$ ”

Otros sostienen que el equilibrio se logra cuando se igualan las cantidades de reactivos y productos:

“El equilibrio químico es el momento, dentro de una reacción, en el que hay igual cantidad de reactivos que de productos.”

También se observó que algunos sujetos han construido una imagen del equilibrio químico como un estado único, dado que sostienen que en la nueva situación de equilibrio, hacia la que evoluciona el sistema desde una situación de equilibrio inicial que fue perturbada, las concentraciones y las velocidades tienen el mismo valor que en el equilibrio inicial:

“S: Pues al añadir más reactivo X, se forma más producto para contrarrestar el desequilibrio, entonces así volvería otra vez al equilibrio.”

E (entrevistador): ¿Contrarresta todo lo que se agregue de X?

S: (piensa) Uhm, sí, yo creo que sí, porque si es un equilibrio tendría que volver a estar otra vez en equilibrio.

En definitiva, se identificaron en las respuestas y dibujos exteriorizados por los alumnos ocho modelos mentales sobre el equilibrio químico (Raviolo, 2005). Estas representaciones internas cumplieron con las características de los modelos mentales al ser analógicas, provisionales, contextuales y funcionales:

- *Equilibrio único*: “Después de una perturbación el sistema logra otro estado de equilibrio igual al equilibrio inicial”. “El sistema compensa totalmente el efecto de una perturbación”.
- *Equilibrio igualdad*: “El equilibrio se alcanza cuando la cantidad de reactivos es igual a la cantidad de productos”.
- *Equilibrio estático*: “Cuando se alcanza el equilibrio químico las concentraciones no cambian y las reacciones no se siguen produciendo”. “El equilibrio se concibe sin cambios, tal como se percibe”.
- *Equilibrio compartimentado*: “Los reactivos se hallan en un recipiente y los productos en otro”. “Los reactivos en el lado izquierdo y los productos en el lado derecho”. “Se puede manipular cada lado de la ecuación en forma independiente del otro”.
- *Equilibrio pendular*: “Primero debe completarse la reacción directa para que comience la reacción inversa, y así sucesivamente”.
- *Equilibrio mecánico*: “La reacción inversa comienza cuando se ha acumulado una cierta cantidad de productos”. “Si la velocidad directa aumenta la inversa debe disminuir”. “El equilibrio es como una balanza de platillos”.
- *Equilibrio perturbado*: “Un sistema en equilibrio químico puede tener una constante de equilibrio muy alta porque el sistema está perturbado y desplazado hacia los productos de acuerdo al principio de Le Chatelier”.
- *Equilibrio preexistente*: “Se puede aplicar el principio de Le Chatelier a la situación inicial (de no equilibrio)”. “En la aproximación

al equilibrio se parte de un equilibrio químico preexistente que es perturbado”.

### ¿Qué subyace detrás de estos modelos mentales?

En un artículo anterior (Raviolo y Martínez Aznar, 2005) se analizaron las causas de las dificultades y concepciones alternativas de los estudiantes en relación con el equilibrio químico, basándose fundamentalmente en una revisión bibliográfica. En esta oportunidad se discuten aspectos que hacen al origen de estas concepciones desde la perspectiva de las relaciones que se establecen entre imágenes, proposiciones, modelos mentales y teorías implícitas.

#### a. La influencia de ideas más generales sobre los fenómenos químicos y sobre la ciencia

La concepción más extendida y sorprendente encontrada en las entrevistas se refiere a que el equilibrio se alcanza cuando las concentraciones de reactivos y productos coinciden con los coeficientes estequiométricos de la ecuación química, o cantidades proporcionales a ellos:

“...y cuando se alcance el equilibrio habrá la proporción estequiométrica...”

“Como se dice que las especies reactivos están en equilibrio con sus productos, estarán en el recipiente todas las especies que intervienen en la reacción, en las proporciones de la reacción.”

En las imágenes que volcaron los entrevistados en el papel, sobre un sistema en equilibrio químico, incluían partículas en la proporción estequiométrica como se muestra en la figura 1.

Esta idea sobre la composición estequiométrica del equilibrio químico se encuentra muy arraigada y

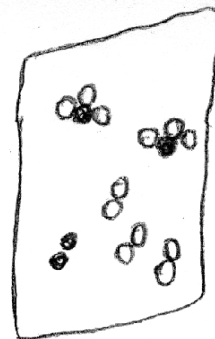


Figura 1. Dibujo de un estudiante sobre el sistema correspondiente al equilibrio químico representado por la ecuación química  $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

lleva a los alumnos a considerar que no se logra el equilibrio si alguna de las especies no se encuentra en la proporción estequiométrica:

**M:** "...puse hidrógeno en la misma cantidad que el yodo y el doble de HI.

**E** (entrevistador): ¿Entonces van a reaccionar hasta que queden en una proporción 1, 1 y 2?

**M:** Sí.

**E:** ¿Pero acá (en el dibujo del problema) dice que está en equilibrio pero no están dibujadas en esa proporción?

**M:** Pues no está en equilibrio, tendría que haber lo mismo de I que de H."

Además, esta concepción estequiométrica se presenta con cierto grado de estabilidad y coherencia, y permite comprender por qué mantienen la idea del estado único y otras concepciones como la idea pendular del equilibrio. Afirman que las concentraciones en la nueva situación de equilibrio son iguales a la del equilibrio inicial (equilibrio único), dado que consideran que deben volver a ser iguales a los coeficientes estequiométricos de la ecuación química. También mantienen la concepción pendular u oscilante del equilibrio, para poder explicar, por ejemplo, que en el siguiente equilibrio representado por la ecuación química  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$ , puedan estar presentes un mol de cada reactivo y dos moles de producto "al mismo tiempo", siendo coherentes con su idea de composición estequiométrica de un sistema químico en equilibrio.

De acuerdo con el modelo propuesto por autores como Vosniadou (1994), Vosniadou y Ioannides (1998) y Pozo y Gómez Crespo (1998), los modelos mentales se pueden explicar a la luz de ciertas teorías de dominio en el campo de las ciencias y éstas, a su vez, a la luz de teorías implícitas más generales de carácter ontológico y epistemológico. Esta distinción permite dar cuenta de las diferencias obtenidas en la investigación sobre la coherencia y persistencia de las concepciones alternativas. Como un resultado importante de la investigación, se verificó que la concepción estequiométrica de la composición del sistema en equilibrio subyace a otros modelos mentales, y que esta imagen surge igual aunque la pregunta no incluya la ecuación química en su enunciado.

El análisis de las ideas que subyacen a los modelos mentales sobre el equilibrio químico mencionados permitió definir tres teorías de dominio más generales en el campo de la química, que están relacionadas con concebir: (1) a la reacción química

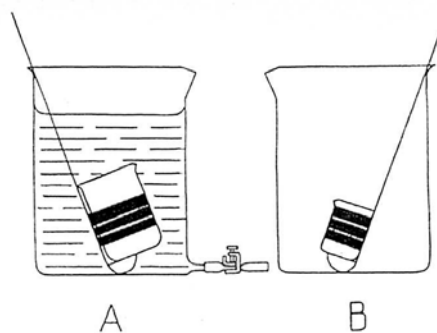
como copia de la ecuación química, (2) al equilibrio como un estado físico de igualdad y (3) a la materia como continua. Estas teorías de dominio explican otras concepciones o dificultades mantenidas por los estudiantes en otros temas de química.

A su vez, estas teorías de dominio pueden ser interpretadas desde dos concepciones más generales o teorías implícitas: (I) los modelos son concebidos como copias de la realidad y (II) los procesos son concebidos como materia. Estas teorías ponen en relieve la presencia de concepciones epistemológicas y ontológicas ingenuas en los estudiantes de primer año de universidad. Estas creencias, sobre las relaciones conocimiento-realidad, controlarían muchos aspectos del aprendizaje de los estudiantes.

#### *b. Las imágenes que se transmiten en la enseñanza: por ejemplo, a través de analogías*

Uno de los recursos didácticos más utilizados en la enseñanza del equilibrio químico es el uso sistemático de analogías. Las analogías ayudan a visualizar conceptos teóricos abstractos como es el caso del equilibrio químico. Las analogías encontradas parten de un dominio conocido, o que mediante alguna actividad se le hace conocer al estudiante, para luego remarcar las correspondencias con algún aspecto del equilibrio químico.

Johnstone, MacDonald y Webb (1977) afirman que el uso de analogías es el origen de varias concepciones alternativas sobre el equilibrio químico, especialmente la visión compartimentada del mismo. Estos autores enumeran doce analogías y destacan que dos son las más usadas: transferencia de agua entre dos recipientes (figura 2) y bolitas de telgopor entre dos cajas "entálpicas" correspondientes a reactivos y a productos; ambas contribuyen a esa concepción alternativa.



**Figura 2.** La analogía de transferencia de agua sugerida inicialmente por Kauffman (1959).

Además de la compartimentación del equilibrio, otras ideas erróneas frecuentes que pueden transmitir las analogías sobre el equilibrio químico son: la idea pendular, la idea de que debe acumularse cierta cantidad de reactivo para que comience la reacción inversa y la idea de que la concentración de reactivos es igual a la de productos. Estas concepciones se traslucen, por ejemplo, en la analogía de la figura 3.

Otro ejemplo de analogía hidráulica presenta dos recipientes comunicados en su parte inferior por un tubo (Donatti y otros, 1992). Inicialmente uno puede contener agua y el otro estar vacío. Esta analogía es propuesta para dar la idea de que el sistema evoluciona espontáneamente hacia el estado de menor energía (potencial gravitatoria) alcanzando un equilibrio (hidrostático). Aunque, al presentar el estado final de equilibrio como la situación donde se igualan los niveles de agua, conduce a la consideración del equilibrio químico como una situación donde la cantidad de reactivos y productos son iguales. Si una vez alcanzado el equilibrio se agrega más agua a uno de los recipientes el sistema compensa la perturbación retornando a otro estado de equilibrio. Para autores como Hierrezuelo y Montero (1988) este tipo de analogías ha contribuido a que los alumnos posean una imagen del equilibrio químico similar a la mostrada en la figura 4.

### c. El empleo dogmático de proposiciones

En el análisis de los resultados del test escrito se asume que los estudiantes interpretan las proposiciones a la luz de los modelos mentales que han construido. Es decir, ellos reconocen proposiciones que podrían expresar verbalmente a partir de sus representaciones internas (Greca y Moreira, 1998).

En las concepciones alternativas 2 y 3, detectadas a través del TPEQ, subyace el modelo mental del equilibrio único, porque conciben a un sistema en equilibrio químico como un estado único carac-

terizado por concentraciones y velocidades constantes que no cambian ante las perturbaciones. Anteriormente, se discutió cómo este modelo mental se apoya en una idea más general relacionada con concebir al equilibrio con una composición estequiométrica. Por otro lado, o complementariamente, estas concepciones pueden deberse al sostenimiento de proposiciones como “el sistema químico contrarresta totalmente el efecto de una perturbación”; es decir, a una definición incorrecta del principio de Le Chatelier.

Esto se debe a que el principio de Le Chatelier se enseña como un algoritmo aislado de otras formas de interpretación de la evolución del sistema y se aprende como una proposición no asociada con modelos adecuados. Frases emitidas frecuentemente como “cuando el equilibrio se reestablece”, pueden reforzar estas incorrectas interpretaciones (Pedrosa y Dias, 2000).

Las concepciones alternativas 1 y 4 ponen de manifiesto que los estudiantes no relacionan correctamente concentraciones con velocidades de reacción, dado que no pueden apreciar que al aproximarse al equilibrio a partir de reactivos, la concentración de ellos disminuye y con ello disminuye la velocidad directa; o que la entrega de calor a un sistema gaseoso en equilibrio químico produciría inicialmente el aumento simultáneo de ambas velocidades de reacción, la directa y la inversa. En otras palabras, no emplean el modelo cinético molecular o el modelo de las colisiones, como una teoría de dominio. En su lugar, emplean en forma mecánica proposiciones sin sentido; por ejemplo, con la concepción 4 realizan una inapropiada aplicación del principio de Le Chatelier, donde este principio resultaría simplificado a un razonamiento del tipo “ocurre lo contrario”: “un aumento de la velocidad directa va acompañado de una disminución de la velocidad inversa”. Poniendo en evidencia la confusión entre extensión y velocidad de la reacción.

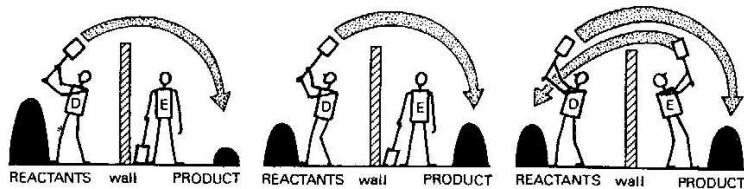


Figura 3. Ejemplo de analogía propuesta por Riley(1984).

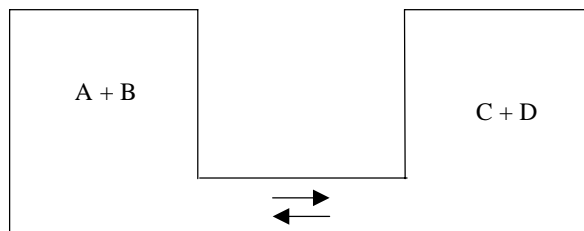


Figura 4. Imagen mental sobre el equilibrio químico.

Por su parte, la concepción 5 puede tener su origen en el modelo del equilibrio único, dado que si los valores de las concentraciones en el equilibrio son siempre los mismos también será igual su relación en la constante de equilibrio. Pero, también se puede deber al sostenimiento de la proposición “la constante de equilibrio nunca cambia”; es decir, al desconocimiento de las condiciones de validez para la constancia de  $K_c$ .

Por último, la concepción 6 sobre el efecto de un catalizador en un sistema en equilibrio químico, también está unida a definiciones del concepto, como el sostenimiento de la proposición “la función de un catalizador es obtener más producto”. También, porque carecen de un modelo microscópico de colisiones para la reacción química.

En definitiva, las dificultades detectadas se deben a que recurren de una forma mecánica y dogmática a proposiciones. En estas proposiciones utilizan palabras asociadas con su definición de equilibrio químico como: constante, igualdad, estático, proporción, estabilidad, compensación y balanza. O bien, muchas de estas dificultades se deben a que emplean modelos mentales que tienen una naturaleza analógica con la ecuación química:

- Tienen una imagen compartimentada del sistema, donde los reactivos se ubican en un recipiente a la izquierda y los productos a la derecha.
- Las cantidades presentes en una situación experimental deben ser iguales o proporcionales a los coeficientes estequiométricos de la ecuación química ajustada.
- Las flechas de la ecuación química representarían conductos reales que permitirían el paso o transferencia de materia para que el equilibrio se logre.

En el aula, el profesor habla del equilibrio químico señalando las distintas partes de la ecuación química escrita en el pizarrón sobre la síntesis del amoníaco, empleando frases del tipo “la reacción se desplaza hacia la derecha” y los alumnos imaginan

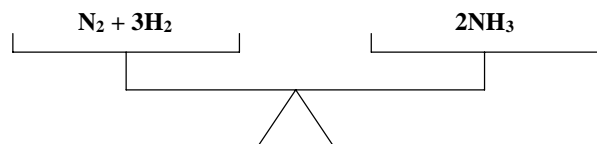


Figura 5. La imagen de la “balanza estequiométrica”.

situaciones que difieren totalmente de las ideas a las que apunta la enseñanza. Se imaginan, por ejemplo, una “balanza estequiométrica” (figura 5) en la que se logra el equilibrio cuando en un uno de los platillos hay un mol de nitrógeno y tres de hidrógeno y, en el otro platillo, hay dos moles de amoníaco.

Este modelo es producto de la enseñanza activa, pero también de la pasiva; es decir, producto de la falta de seguimiento continuo de las ideas de los estudiantes.

Indiscutiblemente, la falta de comprensión de conceptos químicos está vinculada con la incapacidad de los estudiantes de construir modelos mentales completos que visualicen el comportamiento microscópico del sistema estudiado (Williamson y Abraham, 1995).

#### Propuestas didácticas superadoras

Ante las características del tema, y las dificultades que genera en los estudiantes, es necesario recurrir a múltiples recursos de enseñanza, desde el conocimiento de las concepciones alternativas que ha denunciado la bibliografía en Didáctica de las Ciencias (Raviolo y Martínez Aznar, 2003), incorporando los resultados, recursos e instrumentos que provee dicha investigación. A modo de ejemplo se mencionan algunas alternativas.

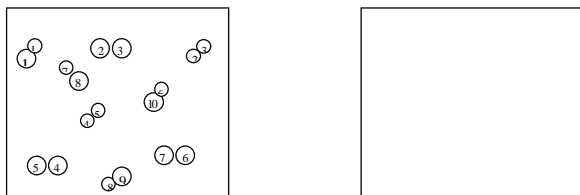
Muchas concepciones alternativas se generan al emplear los distintos niveles de explicación de la química (submicroscópico, simbólico y macroscópico) sin establecer claramente las correspondientes diferencias y relaciones entre ellos. En particular, se ha mostrado cómo muchos estudiantes confunden los coeficientes estequiométricos de la ecuación química (simbólico) con las cantidades presentes de las especies en una situación experimental concreta (macroscópico) porque carecen de un modelo alternativo (submicroscópico). Por ello se recomiendan actividades que relacionen o integren estos tres niveles de representación, a los que se puede añadir el nivel gráfico (gráficos XY, por ejemplo, de concentraciones o velocidades de reacción *versus* tiempo) que permiten comprender la historia o evolución del sistema en distintos momentos. La actividad mostrada en la figura 6 con el objetivo de profundizar el aspecto dinámico del equilibrio, es un ejemplo de relación entre niveles de representación.

En otra actividad similar, Raviolo (2001) brinda una forma para evaluar la comprensión conceptual de los estudiantes sobre el tema equilibrio de solubilidad, a partir de una figura que muestra las partículas

**Figura 6.** Para el siguiente sistema en equilibrio químico representado en esta figura:

a. escribe la ecuación química correspondiente

b. dibuja y enumera una situación de equilibrio después de transcurrido un cierto tiempo a temperatura constante (○ representa un átomo de hidrógeno y ○ representa un átomo de yodo. Los átomos han sido numerados para identificarlos)



numeradas de un sólido iónico ( $\text{AgCl}$ ) en equilibrio con sus iones disueltos. También utilizando modelos de partículas, Huddle (1998) presenta una actividad para evaluar la comprensión conceptual de los estudiantes en relación con la aplicación del principio de Le Chatelier.

Indiscutiblemente el uso de la computadora constituye otro recurso de gran potencial; por ejemplo, algunos programas de simulación que incluyen el tema equilibrio químico: el *Simulations and Interactive Resources -SIR-* (Martín, 1994) y el *Multimedia and Mental Models in Chemistry -4M:CHEM-* (Russell y otros, 1997). En este último programa, la pantalla se presenta dividida en cuatro ventanas, donde se muestran simultánea y sincronizadamente: (1) video del experimento real (macroscópico), (2) animación a nivel molecular del experimento (microscópico), (3) ecuaciones químicas (simbólico) y (4) gráficos de propiedades macroscópicas (gráfico). Las simulaciones pueden ayudar a superar algunas concepciones alternativas pero pueden apoyar otras, como es el caso de la simulación *ChemDiscovery* (en Kozma y Russell, 2005) que puede inducir la imagen compartimentada o de la composición estequiométrica del equilibrio químico.

Con respecto al uso de analogías, es necesario abordar varias de ellas para un mismo fenómeno, y así evitar la tendencia de atribuir características inapropiadas del análogo al objetivo. También es importante destacar el mérito de cada analogía y sus limitaciones (aspectos que no se corresponde con el objetivo). Y, finalmente, permitir la metacognición en ese proceso; es decir, dar lugar a la posibilidad de reflexionar sobre la utilidad que tuvo la analogía en el aprendizaje.

Con respecto a las actividades de laboratorio y demostraciones de aula, se recomienda seleccionar cuidadosamente los experimentos que aporten mayor riqueza conceptual, incorporando representaciones simbólicas, gráficas y submicroscópicas. Por ejemplo el enfoque sugerido por Van Driel, De Vós y Verloop (1999), para tratar la incompleta conversión de los reactivos, la coexistencia de todas las especies en el equilibrio y el dinamismo.

Para discutir con los alumnos la idea del equilibrio como una igualdad, asociada a la imagen de una balanza de platillos, resulta útil discutir lo que ocurrirá con un sistema en equilibrio si se agrega simultáneamente un mol de reactivo y un mol de producto. Lo mismo, para discutir la idea de la composición estequiométrica del equilibrio, presentar una situación donde se agrega simultáneamente al sistema en equilibrio reactivo y producto en cantidades de moles iguales a los coeficientes estequiométricos de la ecuación química; por ejemplo, un mol de  $\text{N}_2\text{O}_4$  y dos moles de  $\text{NO}_2$ , para el equilibrio representado por  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$ . En ambos casos, los alumnos que mantienen estas concepciones afirmarán que no se modificarán los sistemas en equilibrio químico.

En el análisis de las entrevistas realizadas se verificó la tendencia a “materializar” la ecuación química, es decir a percibirla como “materia” y no como representación de un “proceso”; en palabras de Bachelard, el obstáculo epistemológico referido como substancialización de los conceptos. Esta tendencia puede ser revertida con un trabajo a partir de modelos que permitan construir la noción de reacción química como interacción. Un trabajo que permita entender a la ecuación química como un modo simbólico de representación, como un lenguaje específico basado en símbolos químicos, que da cuenta de un tipo específico de interacción. Muchos estudiantes parecieron adherirse a un realismo interpretativo, al concebir a la ecuación química no como un modelo (como una construcción humana que ayuda a interpretar la realidad) sino como un ente real, algo que “descubrió” la investigación química. El verdadero cambio conceptual ocurrirá cuando el alumno asigne al concepto en otra categoría ontológica, de “materia” a “proceso” (Chi, Slotta y Leeuw, 1994).

Finalmente, dado que la forma más frecuente de presentar el conocimiento se basa en la transmisión de proposiciones, es común que en las evaluaciones se le asigne excesiva importancia a las respuestas verbales escritas. Complementariamente, resulta

oportuno en las evaluaciones recurrir a distintos recursos “gráficos”, como solicitar a los estudiantes que realicen dibujos y/o expliquen las imágenes, que pongan en juego sus modelos mentales a través de la descripción, explicación y predicción de los fenómenos. ▣

### Referencias bibliográficas

- Chi, M. T., Slotta, J. D. y De Leeuw, N., From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts, *Learn. Instr.*, **4**, 27-43, 1994.
- Donati, E., Jubert, A. y Andrade Gamboa, J., Uso de un modelo sencillo para la enseñanza de equilibrio químico, *An. Latin. Educ. Quím.*, **2**, 259, 1992.
- Greca, I. y Moreira, M. A., Un estudio piloto sobre representaciones mentales, imágenes y modelos mentales respecto al concepto de campo electromagnético en alumnos de Física General, estudiantes de postgrado y físicos profesionales, *Inv. Ens. Cien.*, **1**(1), 1996.
- Greca, I. y Moreira, M. A., Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo, *Ens. Cien.*, **16**(2), 289-303, 1998.
- Hackling, M. y Garnett, P., Misconceptions of chemical equilibrium, *Eur. J. Sci. Educ.*, **7**(2), 205-214, 1985.
- Hierrezuelo, J. y Montero, A., *La ciencia de los alumnos*. Barcelona: Laia-MEC, 1988.
- Huddle, B., Conceptual questions on Le Chatelier's principle, *J. Chem. Educ.*, **75**(9), 1175, 1998.
- Johnson-Laird, P., *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- Johnson-Laird, P., Images, models and propositional representations. In de Vega, Intons Peterson, Johnson-Laird, Denis y Marschark, *Models of visuospatial cognition*, New York: Oxford University Press, 90-126, 1996.
- Johnstone, A. H., MacDonald, J. J. y Webb, G., Chemical equilibrium and its conceptual difficulties, *Ed. Chem.*, **14**, 169-171, 1977.
- Kauffman, G., Dynamic equilibrium: a student demonstration, *J. Chem. Educ.*, **36**(3), 150, 1959.
- Kozma, R. y Russell, J., Multimedia Learning of Chemistry. In *Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, 409-428, 2005.
- Martin, J., Software: Simulations and Interactive Resources (SIR), *J. Chem. Educ. Software*, 1994.
- Otero, M. R., Psicología cognitiva, representaciones mentales e investigación en enseñanza de la ciencias, *Inv. Ens. Cien.*, **4**(2), 1999.
- Pedrosa, M. A. y Dias, M. H., Chemistry textbook approaches to chemical equilibrium and student alternative conceptions, *Chem. Educ.: Res. Prac. Eur.*, **1**(2), 227-236, 2000.
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A., *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata, 1998.
- Raviolo, A., Assessing students' understanding of solubility equilibrium, *J. Chem. Educ.*, **78**(5), 629-631, 2001.
- Raviolo, A., *Enseñanza y aprendizaje de modelos sobre el equilibrio químico. Una propuesta didáctica con alumnos universitarios españoles y argentinos*. Tesis doctoral presentada en la Facultad de Educación. Universidad Complutense de Madrid, 2005.
- Raviolo, A., Baumgartner, E., Lastres, L. y Torres, N., Logros y dificultades de alumnos universitarios en equilibrio químico: uso de un test con proposiciones”, *Educ. Quím.*, **12**(1), 18-26, 2001.
- Raviolo, A. y Martínez Aznar, M., Una revisión sobre las concepciones alternativas de los estudiantes en relación con el equilibrio químico. Clasificación y síntesis de sugerencias didácticas, *Educ. Quím.*, **14**(3), 60-66, 2003.
- Raviolo, A. y Martínez Aznar, M., El origen de las dificultades y de las concepciones alternativas de los alumnos en relación con el equilibrio químico, *Educ. Quím.*, **16** (número extraordinario), 159-166, 2005.
- Riley, P., Dynamic equilibria—a simple model, *Sch. Sci. Rev.*, **65**, 540, 1984.
- Russell, J., Kozma, R., Jones, T., Wykoff, J., Marx, N. y Davis, J., Use of simultaneous-synchronized macroscopic, microscopic, and symbolic representations to enhance the teaching and learning of chemical concepts, *J. Chem. Educ.*, **74**(3), 330-334, 1997.
- Van Driel, J., De Vos, W. y Verloop, N., Introducing dynamic equilibrium as an explanatory model, *J. Chem. Educ.*, **76**(4), 559-561, 1999.
- Vosniadou, S., Capturing and modelling the process of conceptual change, *Learn. Instr.*, **4**, 45-69, 1994.
- Vosniadou, S. y Ioannides, C., From conceptual development to science education: a psychological point of view, *Int. J. Sci. Educ.*, **20**(10), 1213-1230, 1998.
- Williamson, V. M. y Abraham, M. R., The effects of computer animation on the particulate mental models of college chemistry students, *J. Res. Sci. Teach.*, **32**(5), 521-534, 1995.