

Estudios originales y rigurosos de interés general que involucren análisis, organización sistemática y reflexionada, explicación teórica y predicciones viables.

## El origen de las dificultades y de las concepciones alternativas de los alumnos en relación con el equilibrio químico

Andrés Raviolo<sup>1</sup> y M<sup>a</sup> Mercedes Martínez Aznar<sup>2</sup>

**Abstract: (The origin of students' difficulties and alternative conceptions in relation to chemical equilibrium).**

Students of different education levels show difficulties and alternative conceptions about the subject of chemical equilibrium, which the traditional education has demonstrated been ineffective to overcome. This article analyzes the causes of these difficulties and alternative conceptions classifying them in three possible sources: (a) daily experiences and language, (b) teachers' and texts' alternative conceptions, and (c) traditional teaching characteristics. In turn, four aspects of teaching were considered: problem solving, performing the experiments, expositive lectures and the language used in explanations. We hope the conclusions of this study will encourage the teacher to accomplish a critical revision of the texts and to become aware of the influence, on knowledge construction, of the way as they carry out their teaching.

### Resumen:

Estudiantes de distintos niveles educativos mantienen dificultades y concepciones alternativas sobre el tema equilibrio químico, que la enseñanza habitual se muestra ineficaz para superarlas. Este trabajo analiza las causas de estas dificultades y concepciones alternativas, encontradas en una revisión bibliográfica y en la experiencia personal, clasificándolas en tres posibles fuentes: (a) experiencias y lenguajes cotidianos, (b) concepciones alternativas de los profesores y en los libros de texto y (c) características de la

enseñanza recibida. A su vez se consideran cuatro aspectos en el análisis de las dificultades originadas por la enseñanza: la resolución de problemas, la realización de experimentos, las presentaciones expositivas y el lenguaje utilizado en las explicaciones. Se espera que las conclusiones que se extraen de este estudio contribuyan a que los profesores realicen un abordaje crítico de los libros de texto y de sus planificaciones y tomen conciencia de la influencia, sobre la construcción del conocimiento, del modo en que se lleva adelante la enseñanza.

La consolidación de la Didáctica de las Ciencias como disciplina requiere de avances en varios aspectos, entre ellos: la mejora significativa en la organización de la información empírica disponible. Esto demandaría llevar adelante trabajos de revisión, sistematización y categorización de la información producida en los últimos años (Porlán, 1998). Indiscutiblemente, uno de los principales consensos logrados hasta el momento es el reconocimiento de la complejidad que subyace al aprendizaje y a la enseñanza de las ciencias.

Por ello, y con la finalidad de acercar los productos de la investigación en Didáctica de las Ciencias a los profesores en actividad, se presentó en un artículo anterior (Raviolo y Martínez Aznar, 2003) una revisión, bastante exhaustiva, de las investigaciones que indagan en forma empírica las concepciones de los alumnos acerca del equilibrio químico. En dicho trabajo se realizó una síntesis y clasificación de las dificultades de los estudiantes y de las sugerencias didácticas propuestas por los investigadores.

Estas investigaciones confirmaron que estudiantes de distintos niveles educativos mantienen dificultades y concepciones alternativas sobre el tema equilibrio químico, que la enseñanza habitual se muestra ineficaz en superar.

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Comahue. San Carlos de Bariloche. 8400. Río Negro. Argentina. araviolo@bariloche.com.ar

<sup>2</sup>Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Educación. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. España.

\*Fecha de recibido: 15 de junio de 2003 Fecha de aceptado: 6 de septiembre de 2004

La enseñanza de un contenido científico en particular comparte aspectos comunes con la enseñanza de otros contenidos, pero también posee algunos aspectos específicos, por ejemplo: la complejidad y abstracción, los prerrequisitos conceptuales que demande dentro de la disciplina, las concepciones espontáneas que pueden tener los alumnos (originadas en contextos culturales diferentes), significados alternativos en lenguaje cotidiano, etc. Por ello, es necesario analizar las características de las dificultades que genera un contenido en particular durante su aprendizaje.

**Objetivo y metodología:** Este trabajo se propone analizar las causas de las dificultades y de las concepciones alternativas relacionadas con el tema equilibrio químico, que surgen como producto de una revisión bibliográfica amplia y de la experiencia propia, clasificándolas en tres posibles fuentes:

- A. Experiencias y lenguajes cotidianos.
- B. Concepciones alternativas de los profesores y en los libros de texto.
- C. Características de la enseñanza recibida.

Desde el punto de vista metodológico y ante la imposibilidad de realizar una revisión completamente exhaustiva, se dio prioridad a los trabajos de carácter experimental, que indagaron con alguna metodología las concepciones de los estudiantes. De estos trabajos se extrajeron las referencias que hacían sobre el origen de las dificultades, que luego fueron clasificadas de acuerdo a las categorías que se presentan a continuación.

#### **A. Experiencias y lenguajes cotidianos**

El concepto equilibrio químico no entra en conflicto con la experiencia cotidiana. Bergquist y Heikkinen (1990) afirman que es difícil imaginar que experiencias informales previas a la enseñanza sistemática puedan conformar concepciones ingenuas sobre equilibrio químico, dado que los estudiantes tienen poca conciencia de interactuar con sistemas en equilibrio químico, aún cuando su vida dependa de ellos.

Aunque dos aspectos de la vida cotidiana pueden influir en el aprendizaje del equilibrio químico: (a) la idea incorporada de equilibrio en general, muy relacionada con el equilibrio mecánico y (b) el uso en el lenguaje cotidiano de términos relacionados que se emplean con otro significado en la ciencia, aspecto al que nos referiremos a continuación.

Es frecuente encontrar en la enseñanza de las ciencias palabras que se usan con distintos significados en el lenguaje cotidiano y en el lenguaje científico. Por ejemplo los términos: "equilibrio", "espontáneo", "reversible", "sistema", "energía", "modelo". Bergquist y Heikkinen (1990) mencionan que afirmaciones sobre el equilibrio químico contienen términos usados en la vida cotidiana como: "cambio", "igualdad", "perturbación" y "balanceo", que pueden generar diferentes imágenes visuales en los sujetos según las experiencias personales de cada uno. Por ello sugieren ser conscientes de las diferencias entre el uso técnico de ciertas palabras en ciencias y el uso cotidiano de esos términos.

Van der Borght y Mabilie (1989) comprobaron que los estudiantes reducen el concepto de equilibrio químico al establecimiento de una igualdad o asocian los términos "equilibrio" e "inmovilidad". Sugieren que para superar este obstáculo, y para tratar con la naturaleza dinámica del concepto equilibrio, el estudiante necesariamente debe comprender las velocidades de reacción involucradas.

La asociación del equilibrio químico con una balanza en equilibrio se pone de manifiesto cuando los alumnos afirman que no se producirá ningún cambio en un sistema en equilibrio químico si se agregan simultáneamente igual número de moles de un reactivo y de un producto (Kousathana y Tsaparlis, 2002).

#### **B. Concepciones alternativas de los profesores y en los libros de texto**

Las concepciones alternativas sostenidas por los profesores y las que se detectan en los libros de texto son, obviamente, dos fuentes importantes de las dificultades encontradas en los alumnos.

Varios estudios (Bradley, Gerrans y Long, 1990; Banerjee, 1991) comprobaron que las concepciones alternativas están extendidas tanto en estudiantes como en profesores y que en los profesores no han sido superadas, a pesar de observarse una mejora con la experiencia docente y constituyen, por tanto, una fuente de concepciones erróneas en los alumnos.

En España las investigaciones de Furió y Ortiz (1983) y Quílez (1998) sobre licenciados que se preparan en Cursos de Aptitud Pedagógica (CAP) para ocupar puestos docentes en secundaria, mostraron que éstos tienen dificultades y concepciones alternativas similares a las de los alumnos de secundaria (como por

ejemplo la confusión masa - concentración o la predicción incorrecta de la evolución de un sistema en equilibrio químico perturbado). Además, Quílez y Solaz (1995) estudiaron cómo un grupo de profesores de nivel medio y universitario resuelven situaciones donde el principio de Le Chatelier no tiene aplicación, o su aplicación es limitada, y comprobaron que los profesores presentan las mismas dificultades que sus alumnos. Finalmente, concluyen que esto constituye una de las causas de las concepciones erróneas de los estudiantes.

Más allá de las concepciones alternativas que sostienen los propios profesores, seguramente, pueden resultar más preocupantes los resultados obtenidos por Pereira (1981) que comprobó, en profesores portugueses, la escasa percepción de las dificultades y concepciones de sus alumnos.

Con respecto a los libros de texto, Camacho y Good (1987) verificaron que la mayoría de los problemas sobre equilibrio químico, que presentan gran parte de los libros de texto estándar, son: (a) demasiado fáciles para expertos o demasiado complejos para novatos en términos de requisitos matemáticos, (b) pueden resolverse por la aplicación directa de una fórmula o ecuación, (c) son resueltos en una o dos etapas y (d) solicitan respuestas (mayoritariamente numéricas) sin pedir justificaciones.

Stavridou y Solomonidou (2000) asocian el origen de algunas de estas dificultades a la enseñanza de carácter tradicional que se apoya en textos escolares que insisten en el aspecto cuantitativo de los conceptos antes de desarrollar los aspectos cualitativos, donde la resolución de problemas se basa en estrategias algorítmicas.

Sin embargo, el aspecto más investigado en los libros de texto es la utilización del principio de Le Chatelier (Driscoll, 1960; Quílez, Solaz, Castelló y San José, 1993; Furió y Escobedo, 1994). Los resultados de estos estudios mostraron:

- El uso de un enunciado ambiguo o defectuoso del principio que puede conducir a respuestas equivocadas.
- El principio es presentado en forma simplificada, sin fundamentación teórica, sin hacer referencia a sus limitaciones y como principio infalible en la determinación del desplazamiento del equilibrio químico.
- La falta de una apreciación total de los factores

que afectan la posición del equilibrio. Por ejemplo, la no influencia del agregado de un gas inerte a un sistema químico gaseoso en equilibrio a volumen y temperatura constante.

- Pocos textos previenen sobre los casos en que el principio proporciona resultados contradictorios o no se cumple.
- A pesar que muchos libros de texto incorporan la comparación de  $Q$  y  $K$  para predecir el desplazamiento del sistema perturbado, se comprueba que el principio de Le Chatelier es utilizado casi exclusivamente para este propósito.

Pedrosa y Días (2000) indagaron el lenguaje típico encontrado en los libros de texto y cómo éste da origen o refuerza las concepciones alternativas. Por ejemplo, frases como "el incremento de la temperatura cambia el equilibrio en la dirección de la reacción endotérmica" o "un incremento en la presión del sistema modifica el equilibrio en la dirección del menor número de moles" contribuyen a la idea de que una perturbación del equilibrio puede cambiar las cantidades representadas sólo de un lado de la ecuación química, en una visión compartimentada del equilibrio. Otra frase como "en el equilibrio el efecto neto es cero porque no existe reacción neta" puede fortalecer la idea de que en el equilibrio ninguna reacción tiene lugar o equilibrio estático. A su vez, la frase "el catalizador incrementa la velocidad de reacción", puede transmitir la idea de que el catalizador afecta sólo la velocidad directa de un sistema en equilibrio químico.

Muchos textos escolares proporcionan una imagen inductiva del conocimiento científico, dado que se concentran en las respuestas y no en los problemas y contextos en que éstos se formulan (Quílez, 1997). Un ejemplo de esto lo constituye la forma con que se presenta el principio de Le Chatelier, que se enuncia como una ley universal sin desarrollar sus fundamentos termodinámicos y límites de validez.

En general, 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.

### C. Características de la enseñanza recibida

Los autores que investigaron las concepciones alternativas y dificultades de los estudiantes acerca del

equilibrio químico mencionan algunas otras hipótesis sobre el origen de dichas dificultades señalando que, generalmente, se enmarcan en las experiencias previas de los estudiantes en distintos momentos de su educación formal. Para su presentación, y de acuerdo a las experiencias que han tenido los estudiantes en la enseñanza, estas hipótesis pueden ser clasificadas de la siguiente manera:

- 1) En la resolución de problemas
- 2) En la realización de experimentos
- 3) En las presentaciones expositivas
- 4) Con el lenguaje utilizado en las explicaciones

### C.1. En la resolución de problemas

Varios estudios han mostrado que el énfasis en la resolución de problemas es puesto en aspectos cuantitativos del aprendizaje a expensas de razonamientos cualitativos. Niaz (1995), aportó más evidencia de que la resolución de problemas algorítmicos no implica la comprensión de los conceptos involucrados; demostrando, además, que aquellos estudiantes que resuelven correctamente problemas conceptuales resuelven también en una gran medida los problemas algorítmicos. Para este autor, la insistencia en esta metodología puede convertirse en un obstáculo para la superación de las concepciones alternativas.

En esta línea argumental, el origen de las dificultades de los estudiantes se debe a la abundante exposición de los alumnos a cálculos estequiométricos sobre ecuaciones de reacciones que se completan, donde el énfasis se pone en los coeficientes estequiométricos (Hackling y Garnett, 1985; Bradley, Gerrans y Long, 1990). Esta práctica influye en las imágenes de los estudiantes sobre las relaciones entre las concentraciones de reactivos y productos en el equilibrio: muchos estudiantes consideran que en un sistema cualquiera en equilibrio químico las especies están presentes siempre en cantidades iguales o proporcionales a los coeficientes estequiométricos (Raviolo y Ramírez, 2003). Esta idea puede verse reforzada en la resolución de problemas sobre equilibrio químico; por ejemplo, cuando se emplean planteos donde se compara la situación inicial con la situación en el equilibrio, utilizando una tabla en donde las cantidades de las especies en el equilibrio son referidas a las concentraciones iniciales y a las "x" multiplicadas por los respectivos coeficientes estequiométricos.

Así también, la confianza que adquieren los estu-

diantes en la resolución de problemas con reactivo limitante, en un currículo que hasta la mitad del curso se refiere sólo a reacciones químicas irreversibles y que luego (y en muchos casos las mismas reacciones) se convierten en reversibles, influye también en las ideas que forman los estudiantes sobre la existencia o no de reactivos limitantes y en exceso en la mezcla en equilibrio químico (Bergquist y Heikkinen, 1990).

La insuficiente comprensión del concepto concentración y la confusión entre masa y concentración, generan dificultades al predecir el desplazamiento del equilibrio; por ejemplo, al agregar más reactivo sólido en un equilibrio heterogéneo (Wheeler y Kass, 1978; Furió y Ortiz, 1983). Otra fuente de dificultad lo constituye el hecho de que la mayoría de los problemas sobre el equilibrio involucran proporciones o relaciones dobles del tipo:  $K_a/[H^+] = [OCN^-]/[HOCN]$  y, además, es necesario contar con habilidades de conversión, por ejemplo: de pH a concentración de  $H^+$  (Camacho y Good, 1989). La adquisición del concepto concentración (mol/L) está ligado a la adquisición de la proporcionalidad o razonamiento proporcional y, por lo tanto, con el desarrollo cognitivo (Bergquist y Heikkinen, 1990).

En el estudio de Wilson (1995), los estudiantes de bajo rendimiento concibieron como centrales en su organización cognitiva los conceptos "constante de equilibrio" y "ecuación química". Esto pone de manifiesto que percibieron las relaciones matemáticas (fórmulas memorizadas, métodos algorítmicos) como pilares básicos en su organización de la teoría sobre el equilibrio químico. Para Stavridou y Solomonidou (2000) es necesario construir representaciones del sistema a nivel empírico y molecular, así como, de la historia del sistema, dado que estas nociones inciden en la resolución de problemas; aunque, aclaran que estas relaciones poseen cierta complejidad que es subvalorada en la enseñanza.

Kousathana y Tsaparlis (2002) atribuyen las dificultades encontradas en la resolución de problemas numéricos sobre el equilibrio químico al hecho de que requieren el manejo, no sólo de los conceptos propios del tema, sino también de conceptos tales como mol, estequiometría, gases, leyes de los gases, etc. Sugieren prestar atención a los factores cognitivos subyacentes de modo que la estructura lógica y la demanda mental de los problemas se vayan incrementando gradualmente de forma que eviten la satu-

ración de la memoria de trabajo de muchos estudiantes.

### C.2. En la realización de experimentos

Generalmente son pocas las experiencias de laboratorio y las demostraciones de clase que tienen los estudiantes sobre sistemas en equilibrio químico. Esto lleva a que, dado que tampoco observan equilibrios químicos en su vida cotidiana, no cuenten con episodios o imágenes adecuadas sobre reacciones en equilibrio químico y, por ello, es frecuente que recurran a analogías con sistemas físicos conocidos.

Johnstone, MacDonald y Webb (1977) mencionan que contribuyen a la idea de equilibrio estático y compartimentado, además de las experiencias previas con equilibrios mecánicos frecuentes en la vida cotidiana de los estudiantes, el empleo de analogías físicas y demostraciones de aula en la presentación del concepto, como la analogía de transvasar agua entre dos recipientes.

Para Hackling y Garnett (1985), las experiencias previas de los estudiantes con algunas reacciones químicas que dan la impresión de que su velocidad aumenta al transcurrir el tiempo, pueden influir en la concepción alternativa de que la velocidad directa aumenta al aproximarse el sistema químico al equilibrio químico, partiendo de una situación inicial en la que se mezclan sólo reactivos.

Seleccionar un experimento adecuado no es una tarea simple, dado que generalmente se cuenta con el tiempo suficiente para realizar sólo un trabajo práctico de laboratorio sobre el tema y, puesto que no hay un experimento único que permita abarcar todos los aspectos del equilibrio químico y sus perturbaciones. Además la mayoría de los experimentos típicos, y la metodología empleada en su ejecución, han recibido críticas y se han sugerido continuas modificaciones en revistas de enseñanza de la química (Raviolo, 1999 y 2001).

Aunque la cuestión de fondo, respecto al uso de experimentos en la enseñanza del equilibrio químico, es que éstos se deben interpretar desde modelos que no se desprenden directamente de la evidencia empírica, como la idea de equilibrio dinámico.

### C.3. En las presentaciones expositivas

Como ya se mencionó, los docentes al igual que los textos en los cuales se basan, suelen recurrir, en las

clases, a analogías para presentar el tema equilibrio químico. Dado que el equilibrio químico no tiene referentes cotidianos se suelen emplear analogías que generalmente se basan en sistemas mecánicos o hidráulicos, que transmiten la idea del equilibrio como compartimentado y estático.

Por otro lado, la forma cómo se han introducido otros conceptos previos al equilibrio químico influye en el aprendizaje de éste. Por ejemplo, la manera cómo se ha introducido el concepto de reacción química en la enseñanza habitual (que la reacción tiene lugar en una sola dirección, que siempre procede hasta completarse, que siempre se corresponde con cambios macroscópicos) obstaculiza la comprensión de la reversibilidad y dinámica del equilibrio químico (Van Driel, De Vos, Verloop y Dekkers, 1998).

También el uso en la enseñanza de la ecuación química destacando el símbolo de la doble flecha y el uso de diagramas entálpicos (los reactivos en el lado izquierdo y los productos en el derecho) contribuyen también a la idea de equilibrio estático y compartimentado (Johnstone, MacDonald y Webb, 1977).

Estas ideas son apoyadas por las conclusiones de Bradley, Gerrans y Long (1990) que expresaron que los alumnos que mantienen un inadecuado modelo microscópico de la reacción química, pueden sostener concepciones alternativas como considerar independientes las direcciones directa e inversa de la reacción, la compartimentación del equilibrio, o interpretar incorrectamente la doble flecha y el efecto del catalizador. Así mismo, la incorrecta aplicación del principio de Le Chatelier puede atribuirse a la aplicación mecánica del mismo, sin la comprensión del comportamiento microscópico del sistema químico (Gorodetsky y Gussarsky, 1986).

Varios estudios señalan a la inclusión del principio de Le Chatelier como causa de muchas dificultades de los alumnos (Quílez y Solaz, 1995; Quílez, 1998; Furió y Calatayud, 2000). Por ejemplo, el estudio de Wilson (1995) sobre la estructura cognitiva relacionada con el tema equilibrio químico de alumnos de bajo rendimiento académico, mostró que las relaciones del concepto "principio de Le Chatelier" con otros conceptos no fueron claramente percibidas, indicando que éste se enseña como un algoritmo aislado de otras formas de interpretación de la evolución de sistemas en equilibrio químico que fueron perturbados.

En general, podría afirmarse que muchas confu-

siones se generan al emplear los distintos niveles de explicación de la química o "lenguajes" (submicroscópico, simbólico y macroscópico) sin establecer claramente las correspondientes diferencias y relaciones entre ellos. Por ejemplo, muchos estudiantes confunden los coeficientes estequiométricos de la ecuación química (simbólico) con las cantidades presentes de las especies en una situación experimental en particular (macroscópico) porque carecen de un modelo alternativo (submicroscópico). Esta idea en la que consideran que en el equilibrio las especies están presentes en cantidad igual a sus coeficientes estequiométricos es, a su vez, la causa de otras concepciones alternativas como la idea pendular del equilibrio y la idea del equilibrio como un estado único (Raviolo y Martínez, 2000).

#### C.4 El lenguaje utilizado en las explicaciones

El uso del lenguaje en la enseñanza puede generar concepciones alternativas. Por ejemplo, el empleo de las palabras "equilibrar" o "balancear" en el procedimiento de ajustar una ecuación química, puede transmitir la imagen de que en una situación experimental química tiene que haber igual cantidad de reactivos o productos, o éstos estar presentes en cantidades iguales a sus coeficientes estequiométricos.

En el análisis del discurso de profesores en clases expositivas, Evrard, Huynen y Van der Borgh (1998) se concentraron en los términos y las relaciones que utilizaban entre ellos. Observaron que no se hacían explícitas las diferencias de significados de un mismo término en función del contexto donde es formulado; por ejemplo, el término "ecuación" no implica una igualdad en química como en matemática. En química el número de moles de reactivos no es, necesariamente, igual a número de moles de productos; o el término "reversible" que se usa con distintos significados en la misma química; o la utilización del término "desorden" como sinónimo de "entropía".

En este 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 a la confusión (Gorodetsky y Gussarsky, 1986).

El lenguaje tradicional utilizado al aplicar el principio de Le Chatelier (ej: "la reacción se desplaza hacia la derecha") puede ser fuente de la concepción pen-

dular del equilibrio que sostiene que después de que la reacción directa se completa comienza la reacción inversa (Bergquist y Heikkinen, 1990). También generan confusiones los términos "posición del equilibrio" (Garnett, 2000), "reestablecimiento del equilibrio" (Pedrosa y Dias, 2000) o "sistema cerrado" (Tyson, Treagust y Bucat, 1999).

En su discusión sobre el aprendizaje de la disociación del tetróxido de dinitrógeno, Bucat y Fensham (1995) afirman que el término "sistema" puede ser interpretado por los alumnos como una reacción única mientras que el profesor se está refiriendo a cualquier mezcla de reacción que contiene  $N_2O_4$  y  $NO_2$ .

Por último, la concepción alternativa referida a que el catalizador actúa sobre las velocidades directa e inversa de una forma distinta, puede estar originada en explicaciones de los profesores y textos que dicen que "el catalizador aumenta la velocidad de reacción" frase que es interpretada por los alumnos como "aumenta la velocidad directa" (Pedrosa y Dias, 2000).

Como ya se ha tratado, otros problemas surgen del uso e interpretación del lenguaje matemático. En esta línea, Huddle y Pillay (1996) criticaron el tipo de enseñanza frecuente que capacita a los alumnos a resolver ejercicios algorítmicos, útiles para la admisión en la universidad, sin evaluar su real comprensión conceptual.

Para Van Driel, De Vos, Verloop y Dekkers (1998) la naturaleza dinámica del equilibrio demanda un razonamiento abstracto, por la dificultad de naturaleza lingüística que surge al intentar hablar en una secuencia lineal de discurso acerca de procesos que ocurren simultáneamente. En este sentido, los estudiantes muestran una tendencia a razonar con un pensamiento causal lineal simple (Quílez, 1997), donde predomina una reducción funcional de variables (Furió y Calatayud, 2000).

#### Conclusiones

En este trabajo se ha mostrado cómo las dificultades y concepciones alternativas de los estudiantes en relación con el equilibrio químico tienen su origen en distintas causas asociadas con las experiencias y lenguajes cotidianos, con las concepciones alternativas de los profesores y en los libros de textos y, fundamentalmente, con las características de la enseñanza impartida.

Se destacó cómo muchas de las dificultades observadas provienen del hecho de que los estudiantes no establecen claramente las correspondientes diferencias y relaciones entre los distintos niveles de explicación de la química (submicroscópico, simbólico y macroscópico).

De la lectura de las causas presentadas en este artículo se derivan acciones concretas para superar las dificultades de los estudiantes. En nuestro artículo anterior (Raviolo y Martínez Aznar, 2003) enumeramos sugerencias para la enseñanza del tema, que fueron agrupadas en las mismas ocho categorías que se utilizaron para clasificar las concepciones alternativas.

De este análisis se percibe la necesidad de prestar atención a estos aspectos durante la planificación docente, realizando una revisión crítica de los libros de texto y del lenguaje empleado en las explicaciones, a la luz de las concepciones alternativas propias y del alumnado.

En definitiva, la enseñanza no debería tornarse en una relación unidireccional, desde el docente al alumno pasivo; el profesor tendría que discutir el significado de los términos que utiliza, diferenciando las distintas acepciones de un término en la ciencia y en la vida cotidiana. Y, sobre todo, debería ser permeable a la evolución que van experimentando sus alumnos en la construcción de significados.

Consideraciones como las expresadas en este artículo no pueden estar ausentes en los fundamentos sobre los cuales se elaboren propuestas de enseñanza para el equilibrio químico. Estas propuestas requerirán diseños apropiados de investigación para evaluar su eficacia. El desarrollo y evaluación de propuestas didácticas, fundamentadas en los resultados de la investigación, constituyen una línea de trabajo a profundizar en la Didáctica de la Química.

### Referencias bibliográficas

- Banerjee, A. C., Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium. *Int. J. Sci. Educ.*, **13**(4), 487-497, 1991.
- Bergquist, W. y Heikkinen, H., Student ideas regarding chemical equilibrium. *J. Chem. Educ.*, **67**(12), 1000-1003, 1990.
- Bradley, J., Gerrans, G. y Long, G., Views of some secondary school science teachers and student teachers about chemical equilibrium. *S. Afr. J. Educ.*, **19**(1), 3-12, 1990.
- Bucat, R. y Fensham, P., Teaching and learning about chemical equilibrium. Chapter 6. *Selected papers in chemical education research*, IUPAC, 167-171, 1995.
- Camacho, M. y Good, R., Problem solving and chemical equilibrium. *J. Res. Sci. Teach.*, **26**(3), 251-272, 1989.
- Driscoll, D., The Le Chatelier Principle. *Austral. Sci. Teach. J.*, **6**, 7-15, 1960.
- Evrard, N., Huynen, A. y Van Der Borght, C., Communication of scientific knowledge in class - from verbalization to the concept of chemical equilibrium. *Int. J. Sci. Educ.*, **20**(8), 883-900, 1998.
- Furió, C. y Ortiz, E., Persistencia de errores conceptuales en el estudio del equilibrio químico. *Ens. Cien.*, **1**(1), 15-20, 1983.
- Furió, C. y Escobedo, M., La fijación funcional en el aprendizaje de la química. Un ejemplo paradigmático: usando el principio de Le Chatelier. *Did. Cien. Exp. Soc.*, **8**, 109-124, 1994.
- Furió, C. y Calatayud, M. L., Fijación y reducción funcionales como razonamientos de sentido común en el aprendizaje de la química (1): Equilibrio químico. *Rev. Educ. Cien.*, **1**(1), 6-12, 2000.
- Garnett, P., Alternative conceptions: chemical equilibrium. *16th International Conference on Chemical Education*. Budapest, Hungary, 2000.
- Gorodetsky, M. y Gussarsky, E., Misconceptualization of the chemical equilibrium concept as revealed by different evaluation methods. *Eur. J. Sci. Educ.*, **8**(4), 427-441, 1986.
- Hackling, M. y Garnett, P., Misconceptions of chemical equilibrium. *Eur. J. Sci. Educ.*, **7**(2), 205-214, 1985.
- Huddle, P. y Pillay, A., An in-depth study of misconceptions in stoichiometry and chemical equilibrium at a South African University. *J. Res. Sci. Teach.*, **23**(1), 65-77, 1996.

- Johnstone, A. H., MacDonald, J. J. y Webb, G., Chemical equilibrium and its conceptual difficulties. *Ed. Chem.*, 14, 169-171, 1977.
- Kousathana, M. y Tsaparlis, G., Students' errors in solving numerical chemical-equilibrium problems. *Chem. Educ.: Res. Prac. Eur.*, 3(1), 5-17, 2002.
- Niaz, M., Relationship between student performance on conceptual and computational problems of chemical equilibrium. *Int. J. Sci. Educ.*, 17(3), 343-355, 1995.
- 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.
- Pereira, M., *Teaching and learning difficulties in chemical equilibrium in secondary schools in Portugal*. Unpublished PhD thesis, University of East Anglia, Norwich, Inglaterra, 1981.
- Porlán, R., Pasado, presente y futuro de la Didáctica de las Ciencias, *Ens. Cien.*, 16(1), 175-185, 1998.
- Quílez, J., El principio de Le Chatelier como regla cualitativa: un obstáculo epistemológico en el aprendizaje del equilibrio químico. *Inf. Apr.*, 78, 73-86, 1997.
- Quílez, J., Persistencia de errores conceptuales relacionados con la incorrecta aplicación del principio de Le Chatelier. *Educ. Quím.*, 9(6), 367-376, 1998.
- Quílez, J., Solaz, J. J., Castelló, M. y San José, V., La necesidad de un cambio metodológico en la enseñanza del equilibrio químico: limitaciones del principio de Le Chatelier. *Ens. Cien.*, 11(3), 281-288, 1993.
- Quílez, J. y Solaz, J. J., Students' and teachers' misapplication of Le Chatelier's principle: implications for teaching of chemical equilibrium. *J. Res. Sci. Teach.*, 32(9), 939-957, 1995.
- Raviolo, A., Color y enseñanza en equilibrio. Revisión de experimentos sobre equilibrio químico. *Educ. Cien.*, 3(7), 21-27, 1999.
- Raviolo, A., Color y enseñanza en equilibrio. Revisión de experimentos sobre equilibrios de solubilidad. *Educ. Cien.*, 4(10), 47-53, 2001.
- Raviolo, A. y Martínez Aznar, M., El origen de las concepciones alternativas de estudiantes universitarios sobre el equilibrio químico. En *Reflexiones sobre la Didáctica de las Ciencias Experimentales (Actas)*: Madrid, 2000.
- 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 Ramírez, P., Las representaciones de los alumnos de un sistema en equilibrio químico: la consideración de modelos mentales. *VI Jornadas Nacionales y III Internacionales de Enseñanza Universitaria de la Química*. La Plata, 2003.
- Stavridou, H. y Solomonidou, C., Représentations et conceptions des élèves grecs par rapport au concept d'équilibre chimique. *Didaskalia*, 16, 107-134, 2000.
- Tyson, L., Treagust, D. F. y Bucat, R. B., The complexity of teaching and learning chemical equilibrium. *J. Chem. Educ.*, 76(4), 554-558, 1999.
- Van Der Borght, C. y Mabille, A., The evolution in the meanings given by Belgican secondary school pupils to biological and chemical terms. *Int. J. Sci. Educ.*, 11(3), 347-362, 1989.
- Van Driel, J., De Vos, W., Verloop, N. y Dekkers, H., Developing secondary students' conceptions of chemical reactions: the introduction of chemical equilibrium. *Int. J. Sci. Educ.*, 20(4), 379-392, 1998.
- Wheeler, A. E. y Kass, H., Student's misconceptions in chemical equilibrium. *Sci. Educ.*, 62(2), 223-232, 1978.
- Wilson, J., Network representations of knowledge about chemical equilibrium: variations with achievement. *J. Res. Sci. Teach.*, 31(10), 1133-1147, 1994.