

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

Una revisión sobre las concepciones alternativas de los estudiantes en relación con el equilibrio químico. Clasificación y síntesis de sugerencias didácticas

Andrés Raviolo¹ y Mercedes Martínez Aznar²

Abstract (A survey of students' alternative conceptions regarding chemical equilibrium. Classification and synthesis of suggestions for teaching)

The authors presents an exhaustive survey of empirical research published in books and journals concerning students' alternative conceptions of "chemical equilibrium" and seeks to systematize and categorize the difficulties and alternative conceptions discovered. Also included for each of these categories are the teaching suggestions proposed by the authors surveyed for instruction in this central topic in chemistry. The information collected is considered to be of particular utility to secondary and undergraduate teachers who seek to incorporate innovative teaching methods in their courses.

Resumen

Se presenta una revisión exhaustiva de las investigaciones empíricas llevadas a cabo sobre las concepciones alternativas de los estudiantes acerca del "equilibrio químico" publicadas en revistas y libros de investigación. A partir de esta revisión se realiza un esfuerzo de sistematizar y categorizar las dificultades y concepciones alternativas halladas. También para cada una de estas categorías se incorporan las sugerencias didácticas propuestas por los investigadores para la enseñanza de este tema central de la química. Se considera que la información brindada es de gran utilidad para profesores de nivel medio y universitario que pretendan llevar adelante propuestas innovadoras de enseñanza sobre el equilibrio químico.

Introducción

La investigación en torno a las concepciones alternativas constituye una de las principales y fecundas líneas de investigación en Didáctica de las Ciencias, que ha contribuido, en

buena medida, a su surgimiento y consolidación como disciplina o campo de conocimiento. Esta línea ha aportado al cuestionamiento realizado a la enseñanza tradicional basada en la transmisión de conocimientos y ha servido al objetivo de considerar de forma más compleja la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, descartando posturas simplistas que sostenían que para enseñar bastaba con conocer la materia y tener algo de experiencia docente (Gil, Carrascosa y Martínez, 2000).

Esta línea de investigación también ha contribuido a acercar al profesor a un perfil deseable de docente-investigador, pues le ha conducido, no sólo a revisar los conceptos científicos que enseña, sino también sus propias concepciones sobre la enseñanza y el aprendizaje.

Porlán (1998) afirma que la consolidación futura de la Didáctica de las Ciencias como disciplina requiere de avances en varios aspectos, entre ellos: mejorar significativamente la organización de la información empírica disponible, y alienta a emprender trabajos de revisión, sistematización y categorización de la información producida en los últimos años. Entre esa información, el autor destaca la necesidad de acercar a los docentes en activo, la relacionada con los resultados obtenidos en las investigaciones sobre las concepciones alternativas de los alumnos. En esta línea, no se trata de que el profesor construya aisladamente los conocimientos didácticos sino de buscar los medios para facilitarle el acceso a los resultados de la investigación y a su apropiación.

Ante el vertiginoso aumento de producciones en este campo y por otros motivos de carácter estructural, los docentes no siempre tienen un fácil acceso al conocimiento acumulado de la Didáctica de las Ciencias. Entre los inconvenientes se destacan que las aportaciones se publican en revistas internacionales y en distintos idiomas, no siempre accesibles, y que el volumen de producciones de investigaciones sobre conceptos químicos es comparativamente menor con respecto a conceptos físicos y biológicos (Furió, 1996; Pfundt y Duit, 1998).

Investigaciones sobre las concepciones alternativas de estudiantes acerca del equilibrio químico

En concordancia con los fundamentos anteriores, este trabajo se planteó el objetivo de realizar una revisión bibliográfica de artículos, que indagaran empíricamente las concepciones y

¹ Universidad Nacional del Comahue. Quintral 1250. Bariloche. Río Negro. 8400. Argentina.

Correo electrónico: araviolo@bariloche.com.ar

² Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Educación. Universidad Complutense de Madrid.

Recibido: 20 de septiembre de 2002; aceptado: 6 de enero de 2003.



dificultades de los alumnos acerca del equilibrio químico, publicados en revistas y libros de investigación.

Por ello, no fueron considerados otros trabajos de revisión o de sugerencias personales sobre la enseñanza del equilibrio químico, como las revisiones en el campo de la química de Garnett, Garnett y Hackling (1995), Treagust, Duit y Nieswandt (2000) y el reciente trabajo preparado para la Royal Society of Chemistry por Baker (2001). De este último artículo, han sido tenidas en cuenta todas las citas bibliográficas sobre el equilibrio químico, menos la tesis de maestría no publicada de Banks (1997). También, y más recientemente, ha sido publicado en esta misma revista un completo estudio sobre las dificultades de los alumnos cuan-

do tratan de predecir la evolución de sistemas en equilibrio químico que han sido perturbados (Quílez, 2002).

En el análisis de estas investigaciones se procuró contestar las siguientes preguntas:

1. ¿Qué muestras fueron estudiadas?
2. ¿Qué metodología utilizaron para indagar las concepciones alternativas?
3. ¿Qué aspectos del equilibrio químico evaluaron?
4. ¿Qué concepciones alternativas y dificultades detectaron?
5. ¿Cómo clasificaron esas dificultades?
6. ¿Qué sugerencias didácticas proponen a partir de los resultados hallados?

Cuadro 1. Investigaciones sobre las concepciones alternativas

C: cuestionario; E: entrevistas; O: observaciones; TOM: test opciones múltiples; RP: resolución problemas; TAP: test de asociaciones de palabras; TLC: test de libre clasificación; TA: entrevistas "thinking-aloud".

Nº	Autor(es)	Año	Metodología	Muestras. Nivel educativo
1	Buell y Bradley	1972	C	70 estudiantes nivel medio
2	Johnstone, MacDonald y Webb	1977	TOM	225 estudiantes nivel medio
3	Wheeler y Kass	1978	TOM	99 estudiantes nivel medio (12º grado)
4	Felipe Lorenzo	1981	C, TOM	80 estudiantes de nivel medio
5	Pereira	1981	RP	300 estudiantes de nivel medio
6	Furió y Ortiz	1983	TOM	1 estudiante de nivel medio y 55 licenciados
7	Cros y otros	1984	TOM	200 estudiantes universitarios 1º año (18-19 años)
8	Hackling y Garnett	1985	E	30 estudiantes nivel medio (12º, 17 años)
9	Gorodetsky y Gussarsky	1986	RP, TOM, TLC	160 estudiantes nivel medio (12º, 17-18 años)
10	Gussarsky y Gorodetsky	1988	TAP	160 estudiantes nivel medio (12º)
11	Maskill y Cachapuz	1989	TAP	30 estudiantes nivel medio (15 años)
12	Cachapuz y Maskill	1989	RP, TAP	30 estudiantes nivel medio (15 años)
13	Camacho y Good	1989	RP, TA	13 est. (medio y univ.), 10 prof. univ.-doctorado
14	Van der Borgh y Mabilie	1989	C	559 est. nivel medio (12 a 18 años)
15	Bergquist y Heikkinen	1990	TA	Estudiantes universitarios de 1º año
16	Gussarsky y Gorodetsky	1990	TAP	160 estudiantes de nivel medio (12º)
17	Bradley, Gerrans y Long	1990	TOM	29 prof, 26 est. prof, 105 est. nivel medio
18	Banerjee	1991	C, TOM	69 prof. nivel medio, 162 est. prof. qca 4º año
19	Niaz	1995	C, RP	78 est. univ. 1º año (19,5 años)
20	Quílez y Solaz	1995	C	170 est. univ. 1º año, 40 prof. (medio y univ.)
21	Huddle y Pillay	1996	RP	Más de 600 est. univ. 1º año (18-19 años)
22	Quílez	1998	C, TOM	70 est. univ. 1º, 35 (2º); 74 lic., 69 prof. sec.
23	Thomas y Schwenz	1998	E	16 est. univ. curso de Físico-química
24	Van Driel y otros	1998	O, C	Más de 400 est. grado 10 (15-16 años)
25	Voska y Heikkinen	2000	TOM	95 estudiantes universitarios de 1º año
26	Furió y Calatayud	2000	C	45 est. nivel medio, 60 (1º) y 90 (3º) univ.
27	Raviolo y Martínez Aznar	2000	E, TOM	493 est. universitarios de 1º año (19 años)
28	Raviolo y otros	2001	TOM	115 est. universitarios de 1º año (19 años)

Los resultados obtenidos sobre la metodología y muestras estudiadas en esta revisión se muestran en el cuadro 1.

Esta revisión se considera bastante exhaustiva, aunque cabe aclarar que algunos de los autores citados tienen alguna otra publicación relacionada, en algunos casos con resultados análogos y/o con el uso de similares instrumentos. Los datos de las tesis doctorales de Pereira (1981) y Felipe (1981) fueron extraídos del libro de Pereira (1990).

Si bien la mayoría de estos estudios se enmarcaron en la orientación constructivista, adherían a distintos enfoques, como las investigaciones con orientación piagetiana de la década del 70; otras hacían hincapié en el conocimiento científico y remarcaban el carácter de "errores" de las concepciones; otras indagaban en la estructura cognitiva con la que los estudiantes relacionan los conceptos de la temática; y, otras tenían, únicamente, carácter descriptivo, sin hacer hipótesis sobre el origen de las concepciones o sobre cómo tratarlas didácticamente.

El artículo que se puede considerar pionero en el estudio de las concepciones alternativas de los estudiantes en química, y referencia obligada de trabajos posteriores, es la investigación de Johnstone, MacDonald y Webb (1977), que se encuadra en una perspectiva ausubelina, refiriéndose a las concepciones alternativas como dificultades conceptuales. En este sentido, con respecto a la terminología, se observa un progresivo abandono, con el paso del tiempo, del término "concepción errónea" (*misconception*) que se ha ido suplantando especialmente por el de "concepción alternativa".

Teniendo en cuenta los tres enfoques de investigación sobre el conocimiento de los alumnos, planteados por Pintó, Aliberas y Gómez (1996), a saber: concepciones alternativas, formas de razonamiento y modelos mentales, se observa que la mayoría de las investigaciones se encuadran en el primer enfoque. En el segundo enfoque, sobre formas de razonamiento, se encuentran las primeras investigaciones sobre esquemas piagetianos y la de Furió y Calatayud (2000) al tratar, en particular, la fijación y reducción funcional; también este tipo de razonamiento es usado por otros autores para explicar el origen de algunas de las concepciones alternativas halladas. No se han publicado investigaciones en torno a modelos mentales construidos por los estudiantes sobre el tema equilibrio químico.

Con respecto a lo metodológico, las formas de indagación comúnmente usadas fueron los cuestionarios y las entrevistas. Muchos test de opciones múltiples solicitan también una explicación de las respuestas seleccionadas. En el estudio de Van de Driel y otros (1998), las observaciones se realizaron sobre discusiones grupales de experimentos. En general, los autores coinciden sobre la necesidad de complementar las investigaciones con más de una técnica de indagación, por ejemplo medios escritos con entrevistas, para

profundizar en el acercamiento al estudiante y justificar las conclusiones obtenidas en los cuestionarios.

El aspecto más estudiado (aproximadamente el 60 % de las investigaciones) y sobre el cual se ha debatido mucho, es el referido a la utilización del principio de Le Chatelier para predecir la evolución de un sistema en equilibrio al ser perturbado. Aunque, indagar exclusivamente las ideas de los estudiantes sobre este aspecto del fenómeno, puede pasar por alto la influencia sobre él de concepciones más básicas como: (a) la imagen del sistema en equilibrio (recipiente cerrado, dinamismo, constancia concentraciones, composición de la mezcla en equilibrio) y (b) los aspectos cinéticos (modelo de colisiones, constancia y cambio de velocidades de reacción en distintos momentos).

Resultados de las investigaciones

Dado el volumen de información y la extensión de las dificultades que presentaron los alumnos, se realizó un esfuerzo de sistematización que permitió una clasificación de las dificultades y concepciones alternativas.

Las categorías que hemos propuesto para este análisis fueron definidas como: a) conceptos previos necesarios para el estudio del equilibrio químico; b) características de un sistema en equilibrio químico; c) lenguaje, simbolismo empleado y constante de equilibrio; d) efecto del cambio de variables sobre el sistema en equilibrio; e) velocidades de reacción; f) catalizadores; g) energía y h) equilibrios heterogéneos. Esta sistematización se muestra en el cuadro 2 (los autores de cada investigación numerada puede consultarse en el cuadro 1).

En general, se observa que la mayor parte de las concepciones fueron estudiadas en más de una investigación realizada en distintos contextos. Entre las dificultades más corroboradas por las investigaciones encontramos: (a) la confusión entre cantidad y concentración, (b) la imagen estática y (c) la imagen compartimentada (reactivos y productos por separado) del equilibrio.

Esta sistematización apoya el reconocimiento de una de las características admitidas de las concepciones alternativas: el hecho de que son comunes a estudiantes de diferentes medios, edades, género e incluso culturas. En una mayor medida esta universalidad se observa en un tema como el equilibrio químico, que se construye en el ámbito académico, no en el contexto cotidiano. Por ejemplo, en la enseñanza formal de este tema se utilizan metodologías y libros de textos similares, algo que se manifiesta, especialmente, en los primeros cursos de universidad donde se hace más notable una gran uniformidad en los modelos de enseñanza.

↑

↑

↑

↑

↑

↑

↑

↑

↑

Cuadro 2: Síntesis de concepciones alternativas y dificultades en el tema equilibrio químico.

Categoría	Concepción alternativa / dificultad	Investigación (n°)
a) Conceptos previos que se utilizan en el estudio del equilibrio químico	<ul style="list-style-type: none"> - Indiferenciación entre cantidad y concentración. Ej. masa-concentración. - No aceptación de reacciones químicas reversibles, o indiferenciación. - Confusión entre coeficientes estequiométricos y cantidades presentes en una reacción química. - Dificultades matemáticas y en estequiometría. - Confusión sobre el comportamiento de gases. - Incapacidad en el manejo de la proporcionalidad. - Inadecuada comprensión microscópica de la reacción química. 	<p>1, 3, 4, 5, 6, 15, 20, 21, 22, 26</p> <p>19, 24</p> <p>12, 21</p> <p>4, 13, 20, 21</p> <p>15, 20, 26</p> <p>15</p> <p>17 ←</p>
b) Características de un sistema en equilibrio químico	<ul style="list-style-type: none"> - No diferencian sistemas en equilibrio de sistemas que no lo están. - Desconocimiento de la condición de ser un sistema cerrado. - No distinguen composiciones iniciales y de equilibrio. - No admiten la coexistencia de todas las especies. - Compartimentación del equilibrio. - No mantienen la constancia de las concentraciones a temperatura constante. - Composición del sistema igual a una relación aritmética simple o la estequiométrica. - Consideran al equilibrio como estático. - Consideran al equilibrio como único. - Comportamiento pendular. - Incomprensión de "reactivo limitante" en una situación de equilibrio. 	<p>9</p> <p>6, 17</p> <p>4</p> <p>4, 24</p> <p>2, 6, 7, 9, 12, 16, 17, 22</p> <p>3, 9, 17</p> <p>8, 9, 17, 21, 27</p> <p>7, 9, 11, 13, 16, 23, 24</p> <p>27</p> <p>15, 24, 27</p> <p>15, 20, 24, 27</p>
c) Lenguaje, simbolismo empleado y constante de equilibrio	<ul style="list-style-type: none"> - Asocian el término "equilibrio" a una igualdad e inmovilidad. - Incorrecta interpretación de la doble flecha con distintas longitudes. - Desconocimiento de cuando K es constante. - Mantienen K inalterada ante cambios de la temperatura. - Consideran que en el equilibrio Kc es igual a 1. 	<p>14, 16</p> <p>2, 4, 7, 17</p> <p>3, 6, 9, 13, 23, 25</p> <p>8, 27, 28</p> <p>21</p>
d) Efecto del cambio de variables sobre el equilibrio (aplicación del principio de Le Chatelier)	<ul style="list-style-type: none"> - Mayores dificultades al aplicar Le Chatelier ante cambios de temperatura. - Aplicación de razonamientos tipo Le Chatelier a situaciones inapropiadas. - No consideran todos los factores que afectan al equilibrio (control de variables). - Dificultades al comparar las concentraciones entre un equilibrio inicial y uno final. - Aplicación de Le Chatelier a situaciones que conducen a predicciones incorrectas. - Incomprensión del efecto de agregar gas inerte al sistema en equilibrio. - No uso de Q y K para predecir evolución. 	<p>2, 25</p> <p>3, 9, 26</p> <p>2, 3, 5, 9, 21, 26</p> <p>8, 17, 18, 27, 28</p> <p>20</p> <p>20, 22, 26</p> <p>22</p>
e) Velocidades de reacción	<ul style="list-style-type: none"> - Confusión entre velocidad y extensión. - La velocidad directa aumenta en la aproximación al equilibrio - Cuando la vd aumenta ante una perturbación la vi debe disminuir y viceversa. - Igualdad de las vd y vi en equilibrio final con las del equilibrio inicial. - Aplicación de Le Chatelier a las velocidades. 	<p>3, 11, 12, 13, 18, 21</p> <p>8, 19, 27, 28</p> <p>8, 19, 27, 28</p> <p>8, 27, 28</p> <p>8, 17, 18, 19</p>
f) Catalizadores	<ul style="list-style-type: none"> - El catalizador no afecta la reacción inversa. - El catalizador disminuye la velocidad inversa. - El catalizador produce mayor proporción de productos en la mezcla en equilibrio. 	<p>2, 17, 25</p> <p>2, 8, 17, 27, 28</p> <p>2, 7, 9, 10, 17</p>
g) Energía	<ul style="list-style-type: none"> - Mal interpretación de la información que brinda el ΔH. - No relacionan ΔG° con la extensión del equilibrio. - Confunden ΔG° con ΔH. - No comprensión de un proceso termodinámicamente reversible. - Indiferenciación temperatura-energía. - Confunden energía de activación con ΔG°. 	<p>13, 17</p> <p>13</p> <p>13</p> <p>23</p> <p>10</p> <p>23</p>
h) Equilibrios heterogéneos	<ul style="list-style-type: none"> - Confusión entre masa y concentración. - Incomprensión del papel del sólido. - La adición de más sólido modifica el equilibrio. 	<p>6, 26</p> <p>9</p> <p>22, 23, 25, 26</p>

trab sobre equi. superior. 6, 7, 13, 15, 19, 20, 21, 22, 23
27, 28

Sugerencias para la enseñanza del equilibrio químico realizadas por las investigaciones sobre concepciones alternativas

En este apartado se incluye una síntesis de las principales sugerencias para la enseñanza realizadas en las investigaciones sobre concepciones alternativas de los estudiantes acerca del equilibrio químico.

Para la presentación de estas sugerencias se utilizan las mismas ocho categorías que se usaron para clasificar las concepciones y dificultades de los estudiantes, dado que las sugerencias realizadas por los autores fueron formuladas, en gran medida, basándose en los resultados propios obtenidos en sus estudios. Para facilitar la lectura, las referencias se indican con el número de investigación asignado y empleado en los cuadros 1 y 2.

a) Conceptos previos que se utilizan en el estudio del equilibrio químico:

- hacer hincapié en la interpretación molecular de las reacciones químicas (5)
- integrar, adecuadamente, los principios de estequiometría al estudio del equilibrio químico (17)
- consolidar con materiales "ad hoc" la diferencia entre los conceptos: masa-concentración, y velocidad-extensión de la reacción (3)
- discriminar claramente entre reacciones reversibles y reacciones que se completan (8, 24)

b) Características de un sistema en equilibrio químico:

- realizar actividades en donde los estudiantes diferencien variables de constantes, para distintos aspectos del equilibrio químico (1)
- * tomar conciencia de cómo el uso corriente de las ecuaciones químicas, las analogías para explicar el equilibrio químico y los diagramas entálpicos, pueden favorecer imágenes en los estudiantes de un equilibrio estático y compartimentado (2)
- favorecer formas de razonamiento basadas en el carácter dinámico del equilibrio, por considerarlo más rico y significativo para los estudiantes porque tienen que pensar en términos de moléculas y de mecanismos elementales de reacción (26)
- * utilizar la noción de equilibrio dinámico como un modelo explicativo para las anomalías que surgen en las ideas de los estudiantes ante la reversibilidad y la incompleta conversión en las reacciones químicas (24)
- resaltar, en los cálculos sobre equilibrio químico, cómo la concentración en el equilibrio de las especies que reaccionan es igual a la diferencia entre la concentración inicial y la concentración que reaccionó (5)
- plantear situaciones iniciales donde, por ejemplo, un

reactivo se encuentre en exceso (desde el punto de vista de una reacción que se completa) y solicitar a los alumnos que predigan si se alcanza el equilibrio (27)

c) Lenguaje, simbolismo empleado y constante de equilibrio:

- abandonar el uso de flechas de distinta longitud para indicar las proporciones relativas de reactivos y productos en el equilibrio (17)
- distinguir explícitamente lo que tienen en común y diferente los conceptos de: equilibrio (vida cotidiana), equilibrio físico y equilibrio químico y, evitar abreviar "equilibrio químico" por "equilibrio" (16)
- evitar el uso de la palabra "equilibrar" o "balancear" cuando se hace referencia al ajuste de ecuaciones químicas (14)
- * especificar que solamente los cambios de temperatura afectan la magnitud de la constante de equilibrio (13)

d) Efecto del cambio de variables sobre el equilibrio:

- * usar gráficos concentración *versus* tiempo para ilustrar lo que le ocurre a un sistema en equilibrio al ser perturbado (3, 28)
- * poner mayor énfasis en la enseñanza de los efectos de la temperatura en el equilibrio (el rol que juega la entalpía de reacción para predecir la evolución) (25)
- diferenciar tres estados o situaciones: equilibrio inicial, modificado (o perturbado, de no equilibrio) y equilibrio final (28)
- utilizar diversas metodologías en el tratamiento de sistemas en equilibrio perturbados y en actividades de evaluación o análisis de los resultados obtenidos (26)
- * emplear niveles de explicación complementarios entre sí: estudio de las velocidades de reacción, el principio de Le Chatelier, y el enfoque termodinámico (28)
- aplicar solamente el enfoque termodinámico con el uso del cociente de reacción Q_c y la constante de equilibrio K_c para predecir la evolución de un equilibrio químico perturbado y de la ecuación de van't Hoff (22)
- realizar un adecuado control de variables al aplicar el principio de Le Chatelier (20)
- * evitar la introducción del principio de Le Chatelier en la enseñanza (2, 17, 22)

e) Velocidades de reacción:

- * tener cuidado cuando se menciona que las velocidades de reacción directa e inversa se igualan en el equilibrio dado que es, frecuentemente, interpretado como que se forman iguales cantidades de productos y reactivos (11)
- * profundizar la aplicación del modelo cinético molecular a través de la utilización del modelo de colisiones para visualizar los factores que influyen en la velocidad de reacción (28)

- poner énfasis en ciertos aspectos cinéticos claves como, por ejemplo, que la velocidad de la reacción directa decrece al aproximarse el sistema al equilibrio (19)
- diferenciar para la reacción química los conceptos de: espontaneidad, extensión e inmediatez (28)

f) Catalizadores:

- incorporar lo que le ocurre al sistema en equilibrio al agregar un catalizador (8, 28)
- aclarar que los catalizadores se emplean en la industria pero que a estas reacciones no se les permite alcanzar el equilibrio (17)

g) Energía:

- diferenciar los conceptos temperatura, calor y energía (10)
- discriminar la variación negativa de la energía libre (criterio de espontaneidad) con la variación negativa de la entalpía (criterio de reacción exotérmica) (13)
- relacionar la extensión de la reacción (Kc) con la noción de espontaneidad (ΔGr^0) (13)
- abordar los distintos significados de la palabra reversible en sus usos: cotidiano, termodinámico (transformación reversible) y en equilibrio (reacciones reversibles) (23)

h) Equilibrios heterogéneos:

- debatir sobre cómo la cantidad de sólido no afecta la composición de un equilibrio heterogéneo (23, 25).

Conclusiones

Las investigaciones revisadas se han llevado a cabo con alumnos de más de 15 países, con lo que se comprobó cierto grado de universalidad en el sostenimiento de estas concepciones alternativas. Muchas de las concepciones están presentes en diferentes niveles educativos: desde cursos medios de la escuela secundaria (15 años) hasta cursos universitarios avanzados (ej. un curso de Fisicoquímica). Esto constituye una prueba de que la enseñanza más frecuente en las aulas, constituida por: exposiciones teóricas donde el alumno asume un rol pasivo, resolución de problemas algorítmicos y laboratorios como recetas, no se muestra eficaz en superar estas dificultades. Es necesario, por ejemplo, tener en cuenta las sugerencias que se mencionan en este trabajo que surgen como implicaciones didácticas de la investigación en enseñanza de las ciencias.

Esperamos que esta enumeración y clasificación, tanto de concepciones alternativas como de sugerencias didácticas, resultará de gran utilidad para el profesorado de nivel medio y universitario y le guiará en la planificación y desarrollo de la enseñanza de este tema central 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.
- Banks, P. J., *Students' understanding of chemical equilibrium*. Unpublished MA thesis, Department of Educational Studies. University of York, 1997.
- Barker, V., *Beyond appearances: students' misconceptions about basic chemical ideas*. A report prepared for the Royal Society of Chemistry, 2001.
- <http://www.chemsoc.org/networks/learnnet/miscon.htm>
- Bergquist, W. y Heikkinen, H., Student ideas regarding chemical equilibrium, *J. Chem. Educ.*, **67**[12], 1000-1003, 1990.
- Bradley, J. D., Gerrans, G. C. y Long, G. C., Views of some secondary school science teachers and student teachers about chemical equilibrium, *South Afr. J. Educ.*, **10**[1], 3-1, 1990.
- Buell, R. R. y Bradley, G. A., Piagetian studies in science: chemical equilibrium understanding from study of solubility: A preliminary report from secondary school chemistry, *Sci. Educ.*, **56**[1], 23-29, 1972.
- Cachapuz, A. y Maskill, R., Using word association in formative classroom test: following the learning of Le Chatelier's principle, *Int. J. Sci. Educ.*, **11**[2], 235-246, 1989.
- Camacho, M. y Good, R., Problem solving and chemical equilibrium, *J. Res. Sci. Teach.*, **26**[3], 251-272, 1989.
- Cros, D., Fayol, M., Maurin, M., Chastrette, M., Amouroux, R. y Leber, J., Atome, acides-bases, équilibre: Quelles idées s'en font les étudiants arrivant à l'université, *Rev. Franc. Pédag.*, **68**, 49-60, 1984.
- Felipe Lorenzo, E., *Estudio del equilibrio químico homogéneo para un currículo de química-un problema didáctico*, Tesis doctoral no publicada, Universidad de Valladolid, 1981.
- Furió, C. y Ortiz, E., Persistencia de errores conceptuales en el estudio del equilibrio químico, *Ens. Cienc.*, **1**[1], 15-20, 1983.
- Furió, C., Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. Resultados y tendencias. *Alamb.*, **7**, 7-17, 1996.
- 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. Cienc.*, **1**[1], 6-12, 2000.
- Garnett, P. J., Garnett, P. J. y Hackling, M. W., Students' alternative conceptions in chemistry: a review of research and implications for teaching and learning, *Stud. Sci. Educ.*, **25**, 69-95, 1995.
- Gil, D., Carrascosa, J. y Martínez, F., Una disciplina emergente y un campo específico de investigación, Cap. 1. En: *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Perales, F. y Cañal, P. (editores), Marfil: España, 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.
- Gussarsky, E. y Gorodetsky, M., On the chemical equilibrium concept: Constrained word associations and conception, *J. Res. Sci. Teach.*, 25[5], 319-333, 1988.
- Gussarsky, E. y Gorodetsky, M., On the concept "Chemical equilibrium": The associative framework, *J. Res. Sci. Teach.*, 27[3], 197-204, 1990.
- Hackling, M. W. y Garnett, P. J., Misconceptions of chemical equilibrium, *Eur. J. Sci. Educ.*, 7[2], 205-214, 1985.
- Huddle, P. A. y Pillay, A., E., An in-depth study of misconceptions in stoichiometry and chemical equilibrium at a South African University, *J. Res. Sci. Teach.*, 33[1], 65-77, 1996.
- Johnstone, A. H., MacDonald, J. J. y Webb, G., Chemical equilibrium and its conceptual difficulties, *Educ. Chem.*, 14, 169-171, 1977. IQ ?
- Maskill, R. y Cachapuz, A., Learning about the chemistry topic of equilibrium: The use of work association tests to detect developing conceptualizations, *Int. J. Sci. Educ.*, 11[1], 57-69, 1989.
- * Niaz, M., Relationship between student performance on conceptual and computational problems of chemical equilibrium, *Int. J. Sci. Educ.*, 17[3], 343-355, 1995. FE UN
- Pereira, M., *Teaching and learning difficulties in chemical equilibrium in secondary schools in Portugal*. Unpublished PhD thesis, University of East Anglia, Norwich. Inglaterra, 1981.
- Pereira, M., *Equilíbrio químico. Dificuldades de aprendizagem e sugestões didáticas*, 2ª ed., SPQ: Portugal, 1990.
- Pfundt, H. y Duit, R., *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education*. Institute for Science Education at the University of Kiel, Germany (distribuido electrónicamente), 1998.
- Pintó, R., Aliberas, J. y Gómez, R., Tres enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas, *Ens. Cienc.*, 14[2], 221-232, 1996. FE
- Porlán, R., Pasado, presente y futuro de la Didáctica de las Ciencias, *Ens. Cienc.*, 16[1], 175-185, 1998.
- Quílez, J., Persistencia de errores conceptuales relacionados con la incorrecta aplicación del principio de Le Chatelier, *Educ. Quím.*, 9[6], 367-376, 1998. EUNICE
- Quílez, J., Una propuesta curricular para la enseñanza de la evolución de los sistemas en equilibrio químico que han sido perturbados, *Educ. Quím.*, 13[3], 170-187, 2002. EUNICE
- * 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. FE
- * 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*. Martín Sánchez, M. y Morcillo Ortega, J. G. (eds.), 494-502. Madrid, 2000. Uni
- * 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. EUNICE
- * Thomas, P. y Schwenz, R., College physical chemistry students' conceptions of equilibrium and fundamental thermodynamics, *J. Res. Sci. Teach.*, 35[10], 1151-1160, 1998. Uni
- Treagust, D., Duit, R. y Nieswandt, M., Sources of students' difficulties in learning Chemistry, *Educ. Quím.*, 11[2], 228-235, 2000. EUNICE
- Van der Borght, C. y Mabilie, A., The evolution in the meanings given by Belgian secondary school pupils to biological and chemical terms, *Int. J. Sci. Educ.*, 11[3], 347-362, 1989.
- Van Driel, J. H., 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.
- * Voska, K. W. y Heikkinen, H. W., Identification and analysis of student conceptions used to solve chemical equilibrium problems, *J. Res. Sci. Teach.*, 37[2], 160-176, 2000. FE
- Wheeler, A. E. y Kass, H., Student's misconceptions in chemical equilibrium, *Sci. Educ.*, 62[2], 223-232, 1978.