

PROPUESTA DE UN TEST PARA DETERMINAR EL CONOCIMIENTO CONCEPTUAL DE ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS SOBRE LA CONSTANTE DE EQUILIBRIO QUÍMICO Y SU APLICACIÓN EN ESTUDIANTES ESPAÑOLES

Manel Martínez-Grau, Joan Josep Solaz-Portolés* y Vicent Sanjosé

Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials, Universitat de València, Avda. Tarongers, 4. 46022 València, Espanya

Recebido em 05/09/2013; aceito em 02/12/2013; publicado na web em 10/02/2014

DEVELOPMENT OF A TEST FOR EVALUATING THE CONCEPTUAL KNOWLEDGE OF CHEMICAL EQUILIBRIUM CONSTANT AMONG UNIVERSITY STUDENTS AND ITS APPLICATION TO SPANISH STUDENTS. This article outlines a procedure that was used to develop a written test for evaluating the conceptual knowledge of chemical equilibrium constant among university students. The concepts in the subject matter were carefully defined through propositional statements. Students' understanding of the topic was determined through interviews. These data were used to produce nine multiple choice questions. Each question was designed to identify misconceptions related to the chemical equilibrium constant. The test was evaluated by four associate professors and was administered to a total of 196 Spanish university students. This test has a Cronbach's alpha reliability of 0.63 and its content validity values ranged from 3.7 to 5.

Keywords: test; conceptual knowledge; chemical equilibrium constant.

INTRODUCCIÓN

Es bien conocida la importancia de las concepciones previas de los estudiantes en el aprendizaje. En el caso del equilibrio químico, cuando los estudiantes empiezan a estudiarlo no tienen ideas preconcebidas sobre él. Sin embargo, se han encontrado numerosos errores conceptuales y obstáculos en el aprendizaje del equilibrio químico que dificultan su comprensión.¹⁻⁴ Los errores conceptuales están relacionados con:

- El concepto de equilibrio químico
- Interpretación de la doble flecha en la ecuación química
- Compartimentación derecha/izquierda del equilibrio
- Efectos del cambio en las condiciones del equilibrio químico (principio de Le Chatelier)
- Efecto de la adición de un catalizador

Más específicamente, los errores conceptuales y dificultades en donde está implicada la constante de equilibrio tienen vinculación con:⁵⁻⁸

- Modificación de la constante de equilibrio con la temperatura del sistema
- Introducción errónea de sustancias en fase sólida o líquida en la constante de equilibrio
- Confusión entre la cantidad de sustancia (moles) y concentración (moles/L) en la constante de equilibrio.
- Consideración de la constante de equilibrio no como una verdadera constante sino como una función dependiente de ciertas variables.

De acuerdo con Weerawaddhana,⁹ el origen de las dificultades conceptuales en el equilibrio químico se halla en las representaciones mentales inadecuadas y difusas que construyen los estudiantes. Akkus y colaboradores,¹⁰ por su parte, atribuyen dichos errores conceptuales a una deficiente instrucción. En este punto, es necesario hacer referencia a los libros de texto por su importante papel en la didáctica de la Química. Así, por ejemplo, se ha comprobado que los libros

de texto preuniversitarios españoles presentan deficiencias y errores en el tratamiento del equilibrio químico que,¹¹ y esto lo apuntamos a título de hipótesis, probablemente conducen a concepciones en los estudiantes que se arrastran en sus estudios posteriores.

Se han utilizado una amplia variedad de métodos para investigar la comprensión y asimilación de los conceptos científicos por los estudiantes. Entre ellos destacan: las entrevistas clínicas, los tests de opción múltiple y la elaboración de mapas conceptuales.¹² El test de opción múltiple tiene la ventaja de que permite su administración a un elevado número de estudiantes en un corto período de tiempo, es fácil de calificar, y sus resultados se pueden procesar y analizar con relativa sencillez.¹³ Sin embargo, no se puede ocultar que tienen algunos inconvenientes. Destacaremos aquí uno de ellos: pueden sobreestimar el conocimiento real de los estudiantes, que en muchas ocasiones, son incapaces de justificar adecuadamente la opción seleccionada.¹⁴

En la elaboración de tests de opción múltiple en ciencias es destacable la metodología empleada por Treagust, y que ha sido utilizada por él y diversos colaboradores con gran éxito.¹⁵ Utiliza tests de "dos niveles", en el primer "nivel" examina el conocimiento conceptual del estudiante, en el segundo "nivel" analiza las razones por las que se ha seleccionado una determinada opción del primer "nivel". Para asegurar la validez del instrumento, este autor especifica muy claramente el conocimiento conceptual que cubren los distintos ítems de la prueba. Además, estos ítems se diseñan a partir de las ideas previas de estudiantes sobre los conceptos implicados. Estas ideas se obtienen sobre todo mediante entrevistas clínicas y mapas conceptuales que realizan un pequeño grupo de estudiantes. Solaz-Portolés ha utilizado esta metodología utilizando un test de primer "nivel" con ítems de cinco opciones: una opción correcta, tres distractores y una opción que posibilita al estudiante plantear una alternativa a las otras opciones.¹⁶

Dada la importancia que tiene un conocimiento adecuado de la constante de equilibrio químico en el desarrollo de una unidad didáctica sobre el equilibrio químico, con este estudio pretendemos:

- Identificar el conocimiento conceptual necesario para comprender la constante de equilibrio químico y sus características.
- Elaborar y validar un test que recoja los contenidos conceptuales más relevantes relacionados con la constante de equilibrio.

*e-mail: joan.solaz@uv.es

3. Determinar el conocimiento conceptual de estudiantes universitarios sobre la constante de equilibrio químico, que creemos –lo apuntamos como hipótesis– es deficiente.

METODOLOGÍA

En este apartado se hace una descripción de los sujetos que han intervenido en la investigación y de todos los pasos que se han llevado a cabo en la diseño y elaboración del cuestionario sobre la constante de equilibrio químico. A grandes rasgos éstos han sido: análisis y recopilación del contenido conceptual relacionado con la constante de equilibrio, entrevistas clínicas a unos pocos estudiantes, prueba piloto, determinación de la validez de contenido de la propuesta de test final, y administración de este último.

Sujetos participantes

En las entrevistas clínicas iniciales han participado 4 estudiantes, seleccionados al azar, de 1º de Grado de Química de la Universitat Jaume I (UJI) de Castelló (España). En la prueba piloto han intervenido 59 estudiantes de 1º del Grado de la misma universidad. El test final sobre la constante de equilibrio químico ha sido administrado a un total de 196 estudiantes de la UJI: 76 de 2º de grado de Química, 67 de 1º de grado de Química, y 53 de 1º del grado de Ingeniería Química y Agroalimentaria. Todos ellos habían estudiado previamente la unidad didáctica correspondiente al equilibrio químico. También han intervenido 4 profesores de la Universitat de València (España) que han contestado un cuestionario para determinar la validez de contenido del test sobre la constante de equilibrio químico.

Materiales

Para la realización de las entrevistas clínicas preparamos un guión con preguntas sobre cuestiones que les pueden resultar de especial dificultad: a) cómo se determina la constante de equilibrio, b) factores que influyen en la constante de equilibrio, c) unidades de las constantes de equilibrio, y d) qué representa la constante de equilibrio.

Para la prueba piloto se elaboró una primera versión del test, siguiendo la metodología de Treagust,¹⁵ simplificada por Solaz-Portolés,¹⁶ que se basa en: a) los resultados de entrevistas clínicas; b) identificación de todos los conceptos implicados y redacción de las proposiciones que representan el contenido conceptual (en este caso sobre la constante de equilibrio químico); y c) elaboración de los ítems a partir la información recogida en a) y b). Las proposiciones que recogen los conceptos relacionados con la constante de

equilibrio fueron elaboradas por los autores de este estudio a partir de la información recogida de diferentes textos de Química General y de Termodinámica Química. Posteriormente fueron revisadas (y en algún caso corregidas) por dos profesores universitarios. El listado final de las proposiciones sobre la constante de equilibrio químico se muestra en el Anexo 1.

La primera versión del test contuvo 11 ítems con 5 opciones posibles, de las cuales sólo una es correcta, tres son distractores y la última opción ofrece al estudiante la posibilidad de dar una respuesta alternativa a las planteadas. La versión final del cuestionario tiene 9 ítems (Anexo 2). Se eliminaron 2 ítems de la primera versión porque sus puntuaciones proporcionaban coeficientes de correlación de Pearson con la puntuación media del test que no eran estadísticamente significativos y disminuían considerablemente la fiabilidad del cuestionario (el valor del alfa de Cronbach). En la Tabla 1 se muestra la situación problemática tratada en cada ítem del test, así como su vinculación con los contenidos conceptuales del listado de proposiciones del Anexo 1.

Para la validación del contenido por expertos de la versión final del test se utilizó un cuestionario preparado *ex profeso*, que utiliza una escala tipo Likert de cinco niveles de respuesta (desde “muy poco de acuerdo”, que tiene valor 1, hasta “muy de acuerdo”, que tiene valor 5), y está basado en el elaborado para el mismo fin por Romero y Salicetti.¹⁷ Consta de 11 ítems en los que se solicita la opinión sobre la propuesta de test sobre la constante de equilibrio químico, en concreto sobre: el contenido conceptual de los ítems, sobre la redacción de los ítems, sobre el formato del test y sobre las opciones de respuesta presentadas (Ver Anexo 3).

Procedimiento

Como ya hemos indicado, en las entrevistas clínicas, en la prueba piloto y en la versión final del test, participaron estudiantes de la Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales de la Universitat Jaume I de Castelló (España). Las entrevistas tuvieron una duración aproximada de unos 20 minutos, fuera del horario escolar. En la prueba piloto se administró la primera versión del test durante una sesión de clase normal y en sus respectivas aulas, y el tiempo de que dispusieron los estudiantes fue de 50 minutos (suficiente para todos los estudiantes). Se repitió la misma forma de proceder en la administración de la versión final del test

Los tests sobre la constante de equilibrio contestados por los estudiantes, tanto en la prueba piloto como en la versión final, se han calificado mediante la cuantificación de la respuesta en cada ítem como 0 (opción incorrecta) o 1 (opción correcta). La puntuación final es la suma de puntuaciones de todos los ítems (puntuación mínima 0, puntuación máxima 9).

Tabla 1. Situación problemática tratada en cada ítem del test sobre la constante de equilibrio químico y su vinculación con el contenido conceptual del listado de proposiciones del Anexo 1

Ítem	Situación problemática planteada	Proposiciones implicadas (Anexo 1)
1	Unidades de la K_c	7,9,13
2	Formas de determinar la constante de equilibrio	10,11,12,14,15,16
3	Variación del valor de la constante de equilibrio con los coeficientes estequiométricos de la reacción	4,6,7
4	Relación de la constante de equilibrio con las constantes de velocidad	3,14,15,16
5	Factores de los que depende el valor de la constante de equilibrio termodinámica en un equilibrio de gases ideales	1,2,3,4,6
6	Constante de equilibrio del equilibrio de ionización de un gas monoatómico	19,20,21
7	Constancia de la K_c	7,13
8	Presencia del agua líquida en la constante de equilibrio K_c	17,18
9	Determinación de la constante de equilibrio termodinámica	10,11,12

El cuestionario para la validación del contenido de la versión final del test fue cumplimentado por cuatro profesores universitarios en sus respectivos despachos. Se tomaron el tiempo que necesitaron cada uno de ellos. A partir de la puntuación otorgada por los profesores en cada ítem (recordemos que, en realidad, es una escala Likert de cinco niveles de respuesta que puntuamos entre 1 y 5 puntos), hemos determinado la media aritmética en cada uno de los 11 ítems.

RESULTADOS

En la Tabla 2 se muestran los resultados de las respuestas dadas por los cuatro expertos (profesores universitarios) a los ítems del cuestionario para determinar la validez de contenido del test de conocimiento conceptual sobre la constante de equilibrio químico (Anexo 3).

Como puede observarse en la Tabla 2, los ítems del cuestionario con puntuación más baja (aunque superior a 3, que representa la opción “algunas veces”) son el 7 y el 11. El ítem 7 hace referencia a la idoneidad de la longitud de las preguntas formuladas para la comprensión, y el ítem 11 a la conveniencia de utilizar cinco opciones de respuesta a la pregunta formulada. El resto de los ítems del cuestionario de expertos obtiene una puntuación superior a 4, que manifiesta una posición media entre “siempre” y “casi siempre”. A tenor de los resultados obtenidos en el cuestionario de validez de contenido del test sobre la constante de equilibrio químico, se puede considerar que el test propuesto tiene una validez de contenido aceptable (una puntuación media de todos los ítems de 4,3 sobre 5).

En la Tabla 3 aparecen los coeficientes de correlación producto-momento de Pearson entre puntuaciones de los ítems, y entre cada uno de estas puntuaciones y la puntuación total del test sobre la constante de equilibrio.

Finalmente, en la Tabla 4 se ofrece para cada ítem: el índice de dificultad (proporción de estudiantes que han respondido bien el

ítem); el coeficiente de discriminación (calculado como coeficiente de correlación producto-momento de Pearson entre la puntuación del ítem y la puntuación total del test). Además, en la última fila aparece el valor del alfa de Cronbach calculado para el test.

De los datos recogidos en la Tabla 4 señalaremos, en primer lugar, que el valor obtenido para la fiabilidad del test, alfa de Cronbach igual a 0,63, podemos considerarlo aceptable teniendo en cuenta que: el test propuesto contiene pocos ítems (sólo 9 ítems), el número de estudiantes que lo han realizado es reducido (196 estudiantes) y la muestra es homogénea (todos los estudiantes son de la misma universidad). En segundo lugar, subrayar que todos los ítems del test presentan un buen poder de discriminación, ya que sus coeficientes de discriminación tienen valores iguales o superiores a 0,39 que, según Backhoff, Larrazolo y Rosas,¹⁸ marca el límite a partir del cual un índice de discriminación puede considerarse de calidad excelente. Y en último lugar, apuntar que todos los ítems, menos el ítem 2, son difíciles, esto es, tienen una baja proporción de estudiantes que los contestan apropiadamente.

En la Tabla 5 se indica el porcentaje de estudiantes en cada una de las opciones de los 9 ítems del test. Se destaca en dicha tabla con un asterisco el porcentaje de estudiantes que ha seleccionado la respuesta correcta en cada ítem.

Resaltaremos de los porcentajes de la tabla anterior que

- Ítem 1: el distractor A, que recoge la idea de que la K_c nunca ha de llevar unidades, alcanza casi el 50%, lo que muestra que este error conceptual está muy extendido.
- Ítem 2: una amplia mayoría de los estudiantes (más del 80%) sabe, acertadamente, que las constantes de equilibrio se pueden evaluar tanto mediante métodos teóricos como experimentales.
- Ítem 3: un bajísimo porcentaje de estudiantes (inferior al 13%) conoce que el valor numérico de la constante de equilibrio se modifica con los coeficientes estequiométricos.
- Ítem 4: la opción con mayor porcentaje de respuestas (casi un

Tabla 2. Resultados de la aplicación del cuestionario para determinar la validez de contenido del test: puntuación media en cada ítem (con su desviación típica)

Ítem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Punt. media (desv. típica)	4,7 (0,6)	4,7 (0,6)	5 (0,0)	4,3 (1,2)	4,7 (0,6)	4,3 (1,2)	3,3 (1,5)	4 (1,0)	4,3 (1,2)	4,3 (0,6)	3,7 (1,5)

Tabla 3. Matriz de correlaciones producto-momento de Pearson entre puntuaciones de los ítems y la puntuación total del test

	Ítem 1	Ítem 2	Ítem 3	Ítem 4	Ítem 5	Ítem 6	Ítem 7	Ítem 8	Ítem 9
Ítem 1	1								
Ítem 2	0,172*	1							
Ítem 3	0,002	0,024	1						
Ítem 4	0,196**	0,126	0,274**	1					
Ítem 5	0,098	0,131	0,204**	0,174*	1				
Ítem 6	0,219**	0,070	0,066	0,225**	0,256**	1			
Ítem 7	-0,027	-0,033	0,262**	-0,018	0,309**	0,122	1		
Ítem 8	0,256**	0,011	0,087	-0,059	0,324**	0,318**	0,256**	1	
Ítem 9	0,306**	0,247**	0,157*	0,355*	0,391**	0,076	0,224**	0,068	1
Total	0,512**	0,389**	0,402**	0,505**	0,642**	0,554**	0,422**	0,492**	0,622**

*Estadísticamente significativo en un nivel inferior al 5% **Estadísticamente significativo en un nivel inferior al 1%.

Tabla 4. Índice de dificultad, coeficiente de discriminación de cada ítem y alfa de Cronbach del test sobre la constante de equilibrio químico

	Ítem 1	Ítem 2	Ítem 3	Ítem 4	Ítem 5	Ítem 6	Ítem 7	Ítem 8	Ítem 9
Índice de Dificultad	0,29	0,80	0,12	0,22	0,29	0,41	0,15	0,18	0,22
Coeficiente de discriminación	0,51	0,39	0,40	0,51	0,64	0,55	0,42	0,49	0,62

Alfa de Cronbach del test = 0,63.

Tabla 5. Distribución de los porcentajes de estudiantes que eligen cada opción en cada uno de los ítems del test

	Opción A	Opción B	Opción C	Opción D	Opción E
Ítem 1	47,45	29,08*	10,20	11,73	1,53
Ítem 2	2,55	9,69	80,10*	3,57	4,08
Ítem 3	62,24	9,18	15,82	12,24*	0,51
Ítem 4	5,10	22,45*	29,59	37,76	5,10
Ítem 5	28,57*	8,16	27,55	25,00	10,71
Ítem 6	8,16	10,71	40,82*	31,63	8,67
Ítem 7	14,80*	55,61	8,67	16,84	4,08
Ítem 8	25,51	33,67	17,86*	13,78	9,18
Ítem 9	20,41	22,45*	40,31	11,73	5,10

*Opción correcta de cada ítem.

38%) es la que recoge la idea errónea de que la constante de equilibrio depende de las concentraciones iniciales de reactivos y productos, y también resulta sorprendente el porcentaje (casi un 30%) de estudiantes que piensan que la constante de equilibrio no tiene relación con las constantes de velocidad.

- Ítem 5: tanto la respuesta correcta (A) como dos distractores (C y D) tienen porcentajes similares (alrededor del 27%), lo que pone de manifiesto que los estudiantes asumen que la constante de equilibrio termodinámica para gases ideales depende de la temperatura, pero no todos comprenden que sólo depende de esta variable.
- Ítem 6: una buena parte de los estudiantes (aproximadamente el 41%) admite que el concepto de constante de equilibrio es aplicable a situaciones que no son reacciones químicas en sentido estricto; sin embargo, es importante la proporción que no lo hace (casi el 32%).
- Ítem 7: una mayoría abrumadora de estudiantes (superior al 72%, suma de las opciones B y D) desconoce que, a temperatura constante, la K_c no es estrictamente constante debido a la presencia de fases condensadas y de interacciones soluto-disolvente.
- Ítem 8: se comprueba en este ítem que son muy pocos los estudiantes (menos del 18%) que han aprendido que el agua en fase líquida puede figurar en la expresión de la constante de equilibrio K_c cuando no actúa como disolvente y no es un equilibrio heterogéneo.
- Ítem 9: la opción más escogida (alrededor del 41%) es el distractor C, entalpía de reacción (esta opción sería correcta si fuera la entalpía estándar de reacción $\Delta_r H^\circ$), con casi el doble de porcentaje de estudiantes que la respuesta correcta (22,5%), que es la energía libre de Gibbs estándar de reacción ($\Delta_r G^\circ$, opción B). Esto pensamos que podría deberse a la mayor utilización en el aula de la ecuación de van't Hoff.

En cuanto a las respuestas dadas en la opción E de cada ítem, que recordemos daba la oportunidad de dar una respuesta alternativa a las otras cuatro opciones, todas ellas fueron incorrectas y no merecen una especial atención. Eso sí, algunas de ellas ponen de manifiesto errores conceptuales recurrentes sobre la constante de equilibrio.

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos puede considerarse que el test propuesto para determinar el conocimiento conceptual sobre la constante de equilibrio químico tiene una fiabilidad y validez de contenido aceptables. Además todos sus ítems tienen un buen poder

de discriminación (es decir, una buena capacidad de diferenciar entre los sujetos que obtienen alta y baja puntuación en el test). No obstante, hemos de indicar que los resultados de este estudio, y las conclusiones que se derivan, hacen referencia únicamente a la muestra de sujetos que ha participado en él. Las generalizaciones deberían hacerse con mucha precaución, dada la naturaleza y tamaño de la muestra empleada. Además, no podemos dejar de señalar otros problemas relacionados con los tests de opción múltiple que pueden influir en los resultados, como son que los estudiantes: no hayan entendido la pregunta y, aún así, la hayan contestado; no hayan estudiado algunos de los contenidos planteados en el test; o que hayan contestado puramente al azar.

Llama la atención el bajo nivel de conocimiento conceptual sobre la constante de equilibrio químico que han puesto de manifiesto los estudiantes que han participado en este estudio (y que, por supuesto, no hay razones objetivas para pensar que los estudiantes de esta universidad sean peores o mejores que otros de cualquier otra universidad española). Esto ya lo habíamos avanzado a título de hipótesis y se ha visto corroborado en los resultados: sólo un ítem tienen un porcentaje de respuesta correcta superior al 50% (o un índice de dificultad superior a 0,5). Estos resultados deberían comportar una revisión de la metodología instruccional que se suele emplear en nuestras aulas en la unidad didáctica del equilibrio químico.

Por otra parte, puede verse que las ideas que sostienen los estudiantes, por la elección de determinados distractores en algunos ítems, son bastante coincidentes con algunas ideas sobre la constante de equilibrio químico recogidas en otras investigaciones de manera colateral:⁵⁻⁸ a) inclusión o exclusión incorrecta de sustancias líquidas en la constante de equilibrio, b) problemas con la relación de la constante de equilibrio con la temperatura, c) relación entre la constante de equilibrio y las variables cinéticas, y d) consideración de la constante de equilibrio no como una verdadera constante sino como una función dependiente de ciertas variables.

En opinión de Solaz-Portolés muchas de las dificultades de los estudiantes con la constante de equilibrio químico podrían soslayarse si la introducción de la constante de equilibrio químico se realizara teorizándola dentro del cuerpo de conocimientos de la Termodinámica, y no como se hace habitualmente en los libros de texto de Química General.¹⁹ En la mayoría estos textos, suele presentarse la constante de equilibrio químico dándole un carácter histórico (ley de acción de masas: Guldberg y Waage) y como resultado de evidencias empíricas. En otro trabajo ya se han puesto en evidencia las ventajas didácticas del empleo de las leyes de la Termodinámica en el análisis de la perturbación de sistemas en equilibrio químico.²⁰

MATERIAL SUPLEMENTARIO

Se incluyen los Anexos 1, 2 y 3, que están disponibles en <http://quimicanova.s bq.org.br> en archivo pdf, con acceso libre.

REFERENCIAS

1. Banerjee, A. C.; *Int. J. Sci. Educ.* **1991**, *13*, 487.
2. Quílez, J.; Solaz-Portolés, J. J.; *J. Res. Sci. Teach.* **1995**, *33*, 939.
3. Tyson, L.; Treagust, D. F.; Bucat, R. B.; *J. Chem. Educ.* **1999**, *76*, 554.
4. Van Driel, J. H.; *Chem. Educ. Res. Pract. Eur.* **2002**, *3*, 201.
5. Furió, C.; Calatayud, M. L.; Bárcenas, S. L.; Padilla, O. M.; *Sci. Educ.* **2000**, *84*, 545.
6. Quílez, J.; Sanjosé, V.; *Enseñanza de las Ciencias* **1995**, *13*, 78.
7. Mathabatha, S. S.; *Master's thesis*, University of Pretoria, South Africa, 2005.
8. Swanson, D. C.; *Master's thesis*, California State University, USA, 2011
9. Weerawardhana, A.; *Ph. D. thesis*, University of Wollongong, Australia, 2006.

10. Akkus, H.; Kadayifki, H.; Atasoy, B.; *Res. Sci. Technol. Educ.* **2003**, *21*, 209.
11. Solaz-Portolés, J. J.; *Revista Chilena de Educación Científica* **2007**, *6*, 13.
12. Moreira, M. A.; Silveira, F. L.; *Instrumentos de pesquisa em ensino e aprendizagem*, 1st ed., EDIPUCRS: Porto Alegre, 1993.
13. Tan, K.; Treagust, D. F.; *Sch. Sci. Rev.* **1999**, *81*, 75.
14. Tamir, P.; *Int. J. Sci. Educ.* **1990**, *12*, 563.
15. Treagust, D. F. In *Learning Science in the Schools: Research Reforming Practice*; Glynn, S. M.; Duit, R., eds.; Lawrence Erlbaum Associates: Mahwah, 1995, pp. 327-346.
16. Solaz-Portolés, J. J.; *Revista de Educación* **2001**, *326*, 261.
17. Romero, C.; Salicetti, A.; *Actas del II Congreso Internacional de Investigación Educativa*, Universidad de Costa Rica, Costa Rica, 2011.
18. Backhoff, E.; Larrazolo, N.; Rosas, M.; *Revista Electrónica de Investigación Educativa* **2000**, *2*, 11.
19. Solaz-Portolés, J. J.; *Química no Brasil* **2010**, *4*, 145.
20. Solaz-Portolés, J. J.; *Quim. Nova* **2011**, *34*, 710.