

## 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.<sup>1-4</sup> 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:<sup>5-8</sup>

- 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,<sup>9</sup> 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,<sup>10</sup> 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,<sup>11</sup> 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.<sup>12</sup> 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.<sup>13</sup> 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.<sup>14</sup>

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.<sup>15</sup> 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.<sup>16</sup>

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,<sup>15</sup> simplificada por Solaz-Portolés,<sup>16</sup> 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.<sup>17</sup> 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,<sup>18</sup> 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
<b>Total</b>	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:<sup>5-8</sup> 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.<sup>19</sup> 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.<sup>20</sup>

## 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*, 1<sup>st</sup> 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.

## 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

### Anexo 1. Listado de proposiciones con el contenido conceptual sobre la constante de equilibrio químico

1. La constante de equilibrio químico termodinámica de un sistema en equilibrio de gases ideales es adimensional y su valor numérico depende de la presión estándar elegida.

2. La constante de equilibrio químico termodinámica es función únicamente de la temperatura.

3. La constante de equilibrio químico termodinámica es independiente de la presión, del volumen, de la presencia de catalizadores o de gases inertes, y de las cantidades de sustancia de las especies activas en el equilibrio.

4. El valor numérico de la constante de equilibrio químico termodinámica depende de la estequiometría de la reacción.

5. La constante de equilibrio químico relativa a las presiones parciales,  $K_p$ , tiene dimensiones de presión elevada a la variación de los coeficientes estequiométricos de la reacción.

6. La constante de equilibrio químico relativa a las presiones parciales,  $K_p$ , es únicamente función de la temperatura y su valor numérico depende de la formulación estequiométrica de la ecuación química.

7. La constante de equilibrio químico relativa a las concentraciones molares,  $K_c$ , es únicamente función de la temperatura y su valor numérico depende de la formulación estequiométrica de la ecuación química.

8. La constante de equilibrio químico termodinámica en los equilibrios heterogéneos donde intervienen gases sólo contiene las presiones parciales de las especies gaseosas activas de la mezcla en equilibrio.

9. La constante de equilibrio químico relativa a las concentraciones molares,  $K_c$ , tiene dimensiones de concentración molar elevada a la variación de los coeficientes estequiométricos de la reacción.

10. Las constantes de equilibrio químico termodinámicas pueden determinarse a partir de las energías libres de Gibbs estándar de reacción  $\Delta_r G^0$ .

11. Las energías libres de Gibbs estándar de reacción  $\Delta_r G^0$  pueden evaluarse tanto forma teórica como experimental.

12. La determinación experimental de las constantes de equilibrio químico, mediante procedimientos puramente químicos, podría hacerse a partir de las concentraciones iniciales de los reactivos y de las concentraciones de éstos y de los productos formados en el

equilibrio, que se determinarían por análisis químicos.

13. La constante de equilibrio químico relativa a las concentraciones molares,  $K_c$ , no es estrictamente constante sino que varía dentro de un cierto intervalo de aproximadamente un 10%.

14. Si una reacción química tiene un mecanismo de reacción de una sola etapa, cuando esté en equilibrio las velocidades de reacción directa e inversa serán iguales.

15. Si una reacción química tiene un mecanismo de reacción de varias etapas, cuando esté en equilibrio todas las reacciones elementales que la constituyen estarán en equilibrio y, en cada una de ellas, las velocidades de reacción directa e inversa son iguales.

16. Sólo en el caso de que una reacción química tenga un mecanismo de reacción de una sola etapa su constante de equilibrio será el cociente de las constantes de velocidades directa e inversa.

17. El agua aparece en la constante de equilibrio químico cuando es una sustancia activa de la reacción y se encuentra en fase gaseosa, y también si está en fase líquida como el resto de componentes activos del equilibrio y no actúa como disolvente.

18. El agua no aparece en la constante de equilibrio químico, a pesar de ser una sustancia activa de la reacción, si está en fase sólida, o estando en fase líquida actúa como disolvente o participa en un equilibrio de gases.

19. Si una sustancia se encuentra a una temperatura suficientemente elevada la colisión entre átomos en estado gaseoso, provenientes de dicha sustancia, provoca su ionización, esto es, la generación de iones positivos y electrones.

20. En la ionización de átomos en estado gaseoso se produce tanto el proceso de generación de iones positivos y electrones, como el inverso, la formación de átomos neutros a partir de iones positivos y electrones, llegándose a una situación de equilibrio donde ambos procesos se desarrollan a la misma velocidad.

21. Para un sistema en el que se está produciendo una ionización de átomos en estado gaseoso, a una determinada temperatura, donde existe una situación de equilibrio entre la generación de iones positivos y electrones y la formación de átomos neutros, puede definirse una constante de equilibrio químico a pesar de no ser una reacción química en sentido estricto.



**Anexo 2.** Test de conocimiento conceptual sobre la constante de equilibrio químico.

Nombre y apellidos..... Edad.....  
 Hombre/Mujer..... Curso..... Centro.....

A continuación tenéis un listado de preguntas sobre la constante de equilibrio químico. Seleccionad una sola opción y si pensáis que ninguna de ellas es correcta, escribid vuestra respuesta en la opción "E".

- La constante de equilibrio en función de las concentraciones ( $K_c$ ), ¿tiene que llevar unidades?
  - No, nunca.
  - Depende de la estequiometría de la reacción.
  - Sí, en el caso de tratarse de la constante de equilibrio termodinámica.
  - No lleva unidades sólo en el caso que la suma de los coeficientes estequiométricos de los reactivos y la suma de los coeficientes estequiométricos de los productos sean diferentes.
  - Otra respuesta. Escríbela:
- La determinación de la constante de equilibrio de una reacción química puede hacerse:
  - Únicamente a través de un procedimiento experimental.
  - Únicamente mediante cálculos termodinámicos teóricos.
  - Tanto mediante un procedimiento experimental como por cálculos termodinámicos teóricos.
  - Únicamente por procedimientos cinéticos, ya que en equilibrio se igualan las velocidades de reacción directa e inversa.
  - Otra respuesta. Escríbela.
- Si en la ecuación química que representa un equilibrio químico multiplicamos por 2 todos los coeficientes estequiométricos, el valor de la constante de equilibrio:
  - No se modifica.
  - No se modifica si aparecen sólidos y líquidos puros.
  - Se modifica o no se modifica dependiendo de su estequiometría.
  - Se modifica siempre.
  - Otra respuesta. Escríbela:
- Como al llegar al equilibrio químico la velocidad de reacción de formación de productos se iguala a la velocidad de formación de reactivos (se igualan la velocidad de reacción directa e inversa), por eso:
  - La constante de equilibrio es el cociente de las constantes de velocidad siempre.
  - La constante de equilibrio puede ser igual al cociente de constantes de velocidad en determinados casos.
  - La constante de equilibrio no tiene relación con las constantes de velocidad.
  - La constante de equilibrio depende de las concentraciones iniciales de reactivos y productos.
  - Otra respuesta. Escríbela:
- El valor de la constante de equilibrio termodinámica para gases ideales el estado estándar de los cuales es 1 bar (o 1 atm) depende de:
  - Sólo de la temperatura.
  - De la temperatura y de la presión total.
  - De la temperatura y de la presión parcial de los gases.
  - De la temperatura y del volumen que ocupan los gases.
  - Otra respuesta. Escríbela:
- Si tenemos un gas monoatómico A cerrado en un recipiente y elevamos la temperatura, llegará un momento donde tendremos el equilibrio:  $A \rightleftharpoons A^+ + e^-$ . Este equilibrio:
  - No tendrá una constante de equilibrio porque no es una reacción química.
  - No tendrá una constante de equilibrio porque es imposible llegar al equilibrio.
  - Tendrá una constante de equilibrio como cualquier equilibrio químico.
  - No puede tener constante de equilibrio porque aparecen electrones.
  - Otra respuesta. Escríbela:
- Las constantes de equilibrio expresadas en términos de concentraciones molares ( $K_c$ ) a una temperatura determinada:
  - No son verdaderamente constantes.
  - Son verdaderamente constantes.
  - No son constantes porque dependen de la presión estándar.
  - Son constantes porque no dependen de la temperatura.
  - Otra respuesta. Escríbela:
- En el equilibrio:  $CH_3COOH(l) + CH_3CH_2OH(l) = CH_3COOCH_2CH_3(l) + H_2O(l)$ :
  - El agua no figura en la constante de equilibrio porque es un líquido puro.
  - El agua no figura en la constante de equilibrio porque es el disolvente.
  - El agua se debe incluir en la constante de equilibrio porque ni actúa de disolvente ni es un equilibrio heterogéneo.
  - El agua se debe incluir en la constante de equilibrio porque es un equilibrio donde participan sustancias orgánicas.
  - Otra respuesta. Escríbela:
- La constante de equilibrio termodinámica se puede determinar:
  - A partir de la energía libre de Gibbs de reacción ( $\Delta_r G$ ).
  - A partir de la energía libre de Gibbs estándar de reacción ( $\Delta_r G^\circ$ ).
  - A partir de la entalpía de reacción ( $\Delta_r H$ ).
  - Únicamente de manera experimental a partir de velocidades de reacción o de concentraciones.
  - Otra respuesta. Escríbela:

**Anexo 3.** Cuestionario de evaluación del test sobre la constante de equilibrio químico para expertos**Sobre el contenido de los ítems:**

1. La información que se obtiene de cada ítem es relevante:  
 Siempre  Casi siempre  Algunas veces  Rara vez  Nunca

2. Los conceptos tratados en cada ítem se presentan correctamente:  
 Siempre  Casi siempre  Algunas veces  Rara vez  Nunca

**Sobre la redacción de los ítems:**

3. En la redacción de las preguntas se utiliza un lenguaje apropiado:  
 Siempre  Casi siempre  Algunas veces  Rara vez  Nunca

4. Cada ítem proporciona diferentes alternativas adecuadas al tema del que trata cada cuestión:  
 Siempre  Casi siempre  Algunas veces  Rara vez  Nunca

5. Los ítems no suelen dirigir hacia una respuesta particular  
 Siempre  Casi siempre  Algunas veces  Rara vez  Nunca

6. Las cuestiones presentadas en cada ítem se entienden bien y son concretas, sin posibilidad de confusión:  
 Siempre  Casi siempre  Algunas veces  Rara vez  Nunca

7. Se utilizan preguntas de una longitud apropiada, de modo que no entorpecen su comprensión:  
 Siempre  Casi siempre  Algunas veces  Rara vez  Nunca

**Sobre la ubicación y formato de los ítems:**

8. El orden de las diferentes preguntas es conveniente:  
 Siempre  Casi siempre  Algunas veces  Rara vez  Nunca

9. El formato del cuestionario es adecuado para su cumplimentación:  
 Siempre  Casi siempre  Algunas veces  Rara vez  Nunca

**Sobre las respuestas:**

10. Las respuestas que se ofrecen en cada ítem son adecuadas para discernir el grado de conocimientos sobre la constante de equilibrio químico de los estudiantes:  
 Siempre  Casi siempre  Algunas veces  Rara vez  Nunca

11. El número de 5 respuestas posibles en cada ítem permite extraer una información precisa de cada estudiante:  
 Siempre  Casi siempre  Algunas veces  Rara vez  Nunca