

PRIMERAS JORNADAS DE INVESTIGACION DIDACTICA DE
LA FISICA Y LA QUIMICA EN EL BACHILLERATO

PERSISTENCIA DE ERRORES CONCEPTUALES EN EL ESTUDIO DEL EQUILIBRIO QUIMICO

CARLOS J. FURIO MAS

ELENA ORTIZ

(I.C.E. de la Universidad de Valencia)

SUMMARY

This paper exposes the existence of certain conceptual errors in the study of chemical equilibrium, lack of differentiation between full chemical reaction and equilibrium compartmentation of equilibrium,... and, in particular, the strong persistence of the error of mass-concentration of substances. For it, examples were taken from two different groups: Pre-University course students and teachers students.

1. INTRODUCCION

El interés del estudio de los errores conceptuales que se manifiesta en la aparición reciente de numerosos trabajos en revistas de investigación (Nussbaum, 1981) y jornadas didácticas (Carrascosa y Gil, 1981) (Carrascosa y Gil, 1982), radica en la necesidad de su conocimiento por el profesorado para abordar con cierta eficacia el proceso de enseñanza-aprendizaje.

La actualidad del estudio de los errores conceptuales en el campo del equilibrio químico viene confirmada por la tercera recomendación del grupo de discusión que, sobre este tema, coordinó el profesor D. Vitorovic (1979) en la Third International Conference on Chemical Education celebrada en Dublin y que sugiere literalmente:

«Deberían organizarse trabajos experimentales sobre equivocaciones y errores conceptuales de los estudiantes, a consecuencia de los diferentes métodos de enseñanza (del equilibrio químico)».

En el presente trabajo tratamos de verificar la persistencia de algunos errores conceptuales dentro del estudio del equilibrio químico, incluso en alumnos que hacen el curso para obtener el certificado de aptitud pedagógica (C A P), diploma necesario para opositar a una plaza de profesor según la legislación vigente, y que, en su mayoría, es cursado por licenciados universitarios. La gran persistencia de estos errores conceptuales significa, a nuestro entender, el desconocimiento por el profesorado de los esquemas conceptuales de los alumnos, no logrando las diversas metodologías de enseñanza empleadas el cambio conceptual en el alumnado. Cambio conceptual que ha sido propugnado desde hace bastante tiempo por relevantes epistemólogos (Bachelard, 1938).

2. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVO DEL TRABAJO

Es frecuente observar la aparición de reiterados errores conceptuales en los alumnos que los profesores suelen creer que son pequeños fallos debidos a la incomprensión, por parte del estudiante, de los conceptos que se explican o se aplican en la clase ordinaria. Estas justificaciones del profesorado ocultan, en realidad, su ignorancia de las causas de la persistencia y existencia de estos errores conceptuales. Si admitimos como hipótesis de trabajo que estos errores son como los icebergs que afloran de una sólida y coherente estructura cognoscitiva del alumnado, comprenderemos que el origen de aquellos habrá que buscarlos en el cuerpo de conocimientos —preconceptos, conceptos o ideas— que el alumnado ha asimilado, intercambiado o captado a lo largo de sus vivencias académicas y/o extracadémicas. (Vygosky, 1973) (Ausubel, 1978) (Carrascosa, Gil y González, 1982).

La diagnosis de lo que piensan los alumnos en el campo de la Física y de la Química, está siendo abordada en recientes trabajos de investigación educativa y el nuestro tiene como objetivo fundamental comprobar que existen determinados errores conceptuales cuya persistencia, incluso a niveles estudiantiles elevados, es un síntoma de que la estructura cognoscitiva del alumnado no ha sido afectada por la enseñanza recibida. De forma que el alumno conserva intacto su esquema conceptual inicial ya que las metodologías empleadas no han servido para plantear el debate interior entre la vieja visión del comportamiento de la materia y el nuevo paradigma científico que se pretendía intercambiar en la clase.

Si, por otra parte, aceptamos como tesis la existencia

de un cierto paralelismo entre el desarrollo intelectual del alumno y el crecimiento de la producción científica, como ha sido mostrado por Piaget (1975), existe una base de partida para analizar las estructuras cognitivas del alumnado, viendo como se ha verificado el progreso científico (Kuhn, 1971) y revisando cual era el pensamiento de la comunidad científica en épocas pasadas, ya que sus conclusiones serían las consecuencias lógicas de sus ideas y, en definitiva, de su visión científica del problema.

En este trabajo estudiaremos, entre otros, el llamado error conceptual «masa-concentración», tratando de comprobar si persistía no sólo en alumnos de COU que habían estudiado recientemente el tema del equilibrio químico, sino también en licenciados que hacía bastante tiempo que habían tratado el mismo. Ello nos demostraría que la causa de este error habrá que buscarla no en aspectos anecdóticos, sino en una raíz más profunda; en la forma de interpretar el comportamiento químico de la materia por los estudiantes de Química.

En resumen, el objetivo del trabajo consiste en corroborar la existencia de determinados errores conceptuales sobre el equilibrio químico que han sido tratados por otros autores (Johnstone, Mac Donald y Webb, 1977) (Wheeler y Kass, 1978) (Teterin, 1979) y fundamentalmente verificar la fuerte persistencia del error «masa-concentración» en alumnos que por sus conocimientos, al menos en teoría, no lo debían cometer.

3. PROCEDIMIENTO

Con el fin de verificar la persistencia de algunos errores conceptuales en el equilibrio químico, se encuestó por una parte a dos grupos de alumnos del Curso de Orientación Universitaria (COU) y por otra, a otros dos grupos de alumnos del CAP, que pueden ser consideradas, a priori, muestras de diferentes poblaciones. A continuación se detalla el material suministrado y los alumnos encuestados.

3.1. Material suministrado

Como interesaba contrastar la existencia o no de determinados errores conceptuales detectados en la bibliografía como ya se ha indicado anteriormente, se confeccionó un conjunto de items, uno para cada uno de los errores, todos ellos cerrados, de opción múltiple, incluida la respuesta «no lo sé» para evitar la aleatoriedad en las contestaciones. El alumno, después de elegir la respuesta, debía razonar brevemente su contestación, con el fin de detectar, en lo posible, cuales eran las ideas en que basaba aquella. Los enunciados de estos items se encuentran en el Apéndice. Para el enunciado de los items se pensó en distractores adecuados para los objetivos buscados.

Los errores fueron los siguientes:

Item nº 1: Desconocimiento de las condiciones que debe reunir un sistema químico, en el que

intervienen gases, para poder iniciar el estudio del equilibrio químico (sistema cerrado).

Item nº 2: Concepción del estado de equilibrio como dos estados, atribuidos a los reaccionantes y a los productos respectivamente (Compartimentación del equilibrio).

Item nº 3: Se concibe la constante de equilibrio como una función o como una constante a la misma temperatura? (No constancia de la constante).

Item nº 4: El error «masa-concentración» —si bien, la masa venía medida en moles de sustancia—. Es decir, el alumno considera de forma automática que el número de moles de sustancia es la concentración.

Item nº 5: Equivalencia mental entre la frase «la concentración de sólido» y la frase «la masa de sólido», que vendría a constatar nuevamente el error masa-concentración (item 4) aunque por otra vía.

3.2. Alumnos encuestados

Los dos grupos de alumnos de COU (35 y 26 alumnos) fueron encuestados por uno de los autores del trabajo, cuando había acabado el estudio del tema «Equilibrio químico», dándoles tiempo suficiente, sin limitaciones, para poder concluir con tranquilidad sus contestaciones.

En cuanto a los dos grupos de alumnos del CAP que fueron encuestados, hay que indicar que el tema de los errores conceptuales formaba parte de su programa de Didáctica de Química y la encuesta se hizo el primer día de clase, sin previo aviso. Después de encuestados se hizo la oportuna discusión sobre el tema, llegando a la conclusión de la necesidad de incluirlo en los programas de enseñanza de los futuros profesores. Respecto al espectro de especialidades y niveles de estos alumnos en el momento de la encuesta, se indican a continuación:

Alumnos del C A P encuestados

Grupo	Ldos. Quím.	Fís.	Estud. 5º Quím.	Estud. 5º Fís.	Ldos. Farm.	TOTAL
1	13	6	8	1	-	28
2	13	-	10	1	3	27
TOTAL	26	6	18	2	3	55

Todos estos alumnos habian estudiado en su carrera el tema del equilibrio químico, si bien en los primeros cursos. Es decir, hacía como mínimo tres años que lo habian tratado.

4. RESULTADOS: ANALISIS Y DISCUSION

En la tabla I se presentan los resultados hallados al encuestar por una parte a los alumnos de COU (grupo A) y por otra a los alumnos del CAP (grupo B). Junto a los porcentajes totales de alumnos equivocados (TOT. EQ.) se incluyen las desviaciones estandard *s* de cada uno de aquellos que, según Garret (1971) vienen dadas por la expresión:

$$s = \frac{\sqrt{p(100-p)}}{N}$$

donde *p* representa el porcentaje total de desaciertos y *N*, el número de alumnos encuestados. Dado que el trabajo se considera preliminar, no se ha calculado el factor *z* para valorar las diferencias significativas de forma rigurosa. No obstante, se comentan de manera cualitativa los resultados encontrados. En algunos casos se ha procedido al análisis de las respuestas incorrectas mayoritarias que proporcionará una idea de los errores más frecuentes del alumnado, dentro de las opciones planeadas por los autores. Tengase en cuenta

que al ser un cuestionario cerrado, las respuestas resultan necesariamente condicionadas.

Un rápido análisis global de la tabla I hace ver la elevada cantidad de alumnos de COU en los que persisten errores fundamentales, a pesar de haberse impartido recientemente el tema del equilibrio químico (se les encuestó nada más concluirlo). Es más, incluso en algunos prerrequisitos como es la consideración de cerrar el sistema químico para poder abordar el estudio de un equilibrio, hay casi la mitad de alumnos de la muestra (45.7) que no ha sabido distinguir aquella situación en aquel sistema evolucionaría hacia un equilibrio (item nº 1). Similar consecuencia puede extraerse de las respuestas dadas por los alumnos de COU al item nº 2, cosa que ya preveíamos, de los equivocados (un 53%) la mayoría (35.2%) considera que en el equilibrio hay dos estados atribuidos, uno a los reaccionantes —primer miembro de la ecuación química— y otro, a los productos —segundo miembro de aquella ecuación—. Hohnstone, McDonald y Webb (1977) obtuvieron un porcentaje más alto (79%) en alumnos de similar nivel educativo. Respecto a la no constancia de la constante de equilibrio sin alterar la temperatura, parece excesiva la cantidad de alumnos de COU (95%) que se equivocan y, a través de sus contestaciones, se puede constatar la utilización de la expresión de la constante de equilibrio en forma memorística, ya que para ellos la *K* no es una constante, sino una función matemática que depende de determinadas variables.

Item nº 1: No diferenciación entre reacción total y equilibrio.

Grupo	N	% RESPUESTAS					TOT. EQ.	s
		1a	1b	1c*	1d	1e		
A	61	9.8	23.0	52.5	9.8	4.9	47.5	6.4
B	55	5.5	2.0	81.8	3.6	7.2	18.2	5.2

Item nº 2: Compartimentación del equilibrio.

Grupo	N	% RESPUESTAS					TOT. EQ.	s
		2a	2b	2c	2d*	2e		
A	54	3.7	7.4	35.2	46.3	7.4	53.7	6.8
B	55	3.6	0	18.2	74.5	3.6	25.5	5.9

Item 3: No constancia de la constante de equilibrio.

Grupo	N	% RESPUESTAS					TOT. EQ.	s
		3a	3b	3c	3d*	3e		
A	61	11.5	77.0	4.9	4.9	1.6	95.1	2.8
B	55	7.3	14.5	3.6	72.7	1.8	27.3	6.0

Item nº 4: Error masa = concentración.

Grupo	N	% RESPUESTAS				TOT. EQ.	s
		4a*	4b	4c	4d		
A	61	21.3	0	77.0	1.6	78.7	5.2
B	55	40.0	5.5	54.5	0	60.0	6.6

INVESTIGACION Y EXPERIENCIAS DIDACTICAS

Item n° 5: Error masa = concentración (en sólidos)

Grupo	N	% RESPUESTAS					TOT. EQ.	s
		5a	5b	5c*	5d	5e		
A	61	39.3	8.2	29.5	19.7	3.3	70.5	5.8
B	55	58.2	0	27.3	9.1	5.5	72.7	6.0

Tabla 1.- Porcentaje de respuestas de alumnos de COU (grupo A) y del C A P (grupo B) al cuestionario contenido en el Apéndice.

Como era de esperar, en estos tres errores conceptuales hay diferencias significativas entre los resultados encontrados en alumnos de COU y de CAP, debido a la mayor experiencia curricular de estos últimos. Sin embargo, al comparar los resultados hallados en el error masa-concentración (item n° 5), puede apreciarse que las diferencias entre estas dos muestras ya no son tan grandes (78.7 y 60% respectivamente) y en el error masa-concentración (en sólidos) (item n° 5) parecen disiparse (70.5 y 72.7% respectivamente). Ello nos permite apuntar que, a pesar de la especialización de los estudiantes universitarios, existe una fuerte persistencia de estos errores que habrá que justificar.

Según nuestra opinión, existe una causa que explica esta gran persistencia del error masa-concentración, causa ya mencionada en la epistemología genética (Piaget, 1975) y comprobada en el campo de la Física (Gil, 1981). Esta causa es el carácter finalista o teleológico del esquema conceptual del alumno en el comportamiento de la materia. Nuestra hipótesis que habrá que constatar más rigurosamente, consiste en suponer que para el alumno el objetivo final de una reacción química es la cantidad de producto obtenido (masa) sin importar cómo sucede este cambio químico, de ahí la hegemonía de la cantidad de reaccionantes como la variable que realmente importa en todo proceso químico. Recordemos que el uso de la concentración de sustancias aparece íntimamente relacionado con el modelo elemental de reacción, organizador previo para poder llegar fácilmente a la concepción del equilibrio químico a niveles introductorios, con todas las precauciones que se quieran.

Este error-masa-concentración en las reacciones químicas, que muchos profesores han observado experimentalmente en sus alumnos, aparece históricamente en el siglo XVIII; científicos tan famosos como Berthollet en su obra «Essai de statique chimique» (París,

1803), para poder explicar los dos sentidos posibles de evolución de un sistema químico, tiene que formular en su tesis sobre las leyes de la afinidad química que «la fuerza absoluta que provocan las reacciones químicas no sólo depende de las afinidades de cada sustancia para combinarse sino que, también, las cantidades de los cuerpos reaccionantes pueden influir en el sentido de la reacción» (Leicester, 1967). Fue después de casi un siglo cuando es introducido el concepto de masa activa (similar a nuestro concepto actual de concentración) por los noruegos Guldberg y Waage, como consecuencia de su interpretación cinética de la reacción química, para que se pueda deducir la conocida ley de acción de masas. Según esta concepción, la fuerza impulsora del proceso es proporcional a la velocidad con que sucede y, en consecuencia, a las concentraciones de los reactivos y no a las masas de las sustancias combinadas (Lindauer, 1962).

DISCUSION

La diagnosis de los errores conceptuales, aún siendo una etapa necesaria, no tendría sentido si no se buscan las causas de los mismos y no se ofrece una alternativa didáctica con la que erradicar la interpretación no científica del comportamiento de la materia.

La persistencia de errores conceptuales en el alumnado que ha sido mostrada en este trabajo preliminar, nos hace suponer que la causa esencial del fracaso de nuestros alumnos en Química radica en la utilización de una metodología empirista que no tiene en cuenta el conocimiento anterior de los alumnos (Bunge, 1978) (Hempel, 1979). Este conocimiento anterior del alumnado interviene como variable fundamental con la que debe contar todo profesor para una enseñanza eficaz de la Química (West y Fensham, 1976).

BIBLIOGRAFIA

AUSUBEL D.P. 1978 «Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo» (Trillas, México).

BACHELARD G. 1983 «La formation de l'esprit scientifique» (Vrin, París).

BUNGE M. 1978 «Filosofía de la ciencia natural» (Ariel, Barcelona).

CARRASCOSA J. y GIL D. 1981 «Estudio sobre la persistencia de los errores conceptuales en el aprendizaje de la Física» (comunicación presentada en las Jornadas de F. y Q., Alcalá de Henares).

CARRASCOSA J. y GIL D. 1982 «Los errores conceptuales en la enseñanza de la Física. I Un estudio de su persistencia» (Primeras Jornadas de Investigación en Didáctica de F. y Q., Valencia).

CARRASCOSA J., GIL y GONZALEZ A. 1982 «Un nuevo tratamiento de los errores conceptuales en la enseñanza de la Física» (Primeras Jornadas de Investigación en Didáctica de F. y Q., Valencia).

GIL, D. 1981 «Evolución de la idea de materia» (I. C.E. Universidad Valencia).

GARRET H. E. 1971 «Estadística en Psicología y Educación» (Paidós, Buenos Aires).

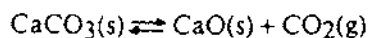
INVESTIGACION Y EXPERIENCIAS DIDACTICAS

- HEMPEL C.G. 1979 «Filosofía de la Física» (Ariel, Barcelona).
- JOHNSTONE A.K., MAC DONALD J.J. y WEBB G. 1977 «Chemical Equilibrium and its conceptual difficulties» (Educ. in Chemistry, 14, 169-171).
- KUHN T.S. 1971 «La estructura de las revoluciones científicas» (Fondo de Cultura Económica, México).
- LEICESTER H.M. 1967 «Panorama histórico de la Química» (Alhambra, Madrid).
- LINDAUER M.W. 1962 «The evolution of the concept of Chemical Equilibrium from 1775 to 1923» (Jour. of Chem. Ed., 39 (8), 284-390).
- NUSSBAUM J. 1981 «Towards the diagnosis by Science Teachers of pupil's misconceptions: an exercise with student Teachers» (Eur. J. of Sci. Educ., V. 17, NO. 1, 75-78).
- PIAGET J. 1975 «Introducción a la epistemología genética. El pensamiento físico» (Paidós, Buenos Aires).
- TETERIN H.A. 1979 «Chemical Equilibria and Energetics. A tertiary viewpoint» (comunicación presentada en la 3ª Conferencia Internacional de Enseñanza de la Química, Dublín).
- VIGOTSKY L.S. 1973 «Aprendizaje y desarrollo intelectual en la edad escolar» (en «Psicología y Pedagogía», Akal).
- WEST L.H.T. y FENSHAM P.J. 1976 «Prior knowledge or advance organizers as effective variables in chemical learning» (Journ. of Research in Science Teaching, 13 (4), 297-306).
- WHEELER A.E. y KASS H. 1978 «Student's Misconceptions in Chemical Equilibrium» (Science Education, 62 (2), (223-232).

APENDICE

Pregunta n° 1

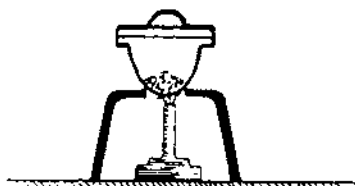
El $\text{CaCO}_3(\text{s})$ se descompone por calcinación en $\text{CaO}(\text{s})$ y $\text{CO}_2(\text{g})$ según la ecuación:



Dos experimentadores colocaron la misma cantidad de $\text{CaCO}_3(\text{s})$, uno en una cápsula de porcelana, el otro en un recipiente tapado, como muestran los esquemas adjuntos, y calentaron hasta 900°C .



EXPERIMENTO 1



EXPERIMENTO 2

¿Cuál de las siguientes afirmaciones te parece correcta?

- En ambos experimentos podrá descomponerse todo el CaCO_3 inicial.
- En el experimento 2 podrá descomponerse mayor cantidad de CaCO_3 que en el experimento 1.
- Sólo en el experimento 1 podrá descomponerse todo el CaCO_3 .
- Sólo en el experimento 2 podrá descomponerse todo el CaCO_3 .
- No lo sé.

Explicación:

ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Pregunta n° 2

El sistema de la figura 1 está en equilibrio a cierta temperatura, según la ecuación:

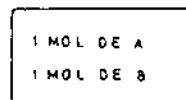


FIGURA 1.

Dados los siguientes recipientes, a la misma temperatura, en los que A y B están separados como muestran las figuras 2 y 3:

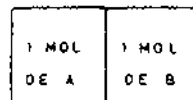


FIGURA 2.

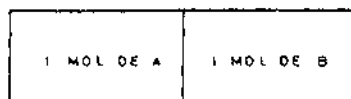


FIGURA 3.

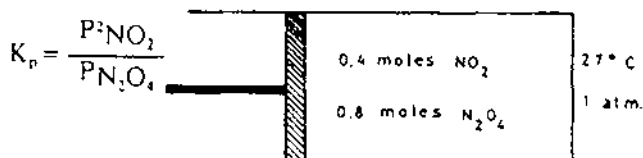
¿Cuál de las siguientes afirmaciones te parece correcta?

- Los gases A y B están en equilibrio sólo en el recipiente de la figura 2.
- Los gases A y B están en equilibrio sólo en el recipiente de la figura 3.
- En los dos recipientes (2 y 3) los gases A y B están en equilibrio.
- En ninguno de los dos recipientes (2 y 3) los gases A y B están en equilibrio.
- No lo sé.

Explicación:

Pregunta n° 3

El sistema de la figura adjunta está en equilibrio según la ecuación $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2 NO_2(g)$, para lo cual K_p viene dada por la expresión:



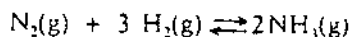
¿Cuál de los siguientes procedimientos es adecuado para aumentar el valor de K_p a 27°C?

- a) Aumentar la presión total (disminuyendo el volumen a temperatura constante).
- b) Aumentar la presión parcial del NO_2 (añadiendo NO_2 al sistema en equilibrio, manteniendo el volumen y la temperatura constantes).
- c) Disminuir la presión total (aumentando el volumen a temperatura constante).
- d) La pregunta es absurda.
- e) No lo sé.

Explicación:

Pregunta n° 4

Una mezcla de N_2 , H_2 y NH_3 está en equilibrio en un recipiente cerrado, según la ecuación:



La mezcla en equilibrio contiene: 1.3 moles de NH_3
0.1 moles de N_2
0.3 moles de H_2

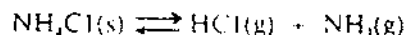
Se desea calcular el valor de la constante de equilibrio, K_c , para dicha reacción. Elige cual de las siguientes respuestas te parece correcta:

- a) No es posible el cálculo.
- b) $K_c = \frac{0.1 \times 0.3^3}{1.3^2}$
- c) $K_c = \frac{1.3^2}{0.1 \times 0.3^3}$
- d) No lo sé.

Explicación:

Pregunta n° 5

Al calentar el sólido NH_4Cl , se descompone en los gases HCl y NH_3 . Si la reacción se realiza en un recipiente cerrado, se alcanza un estado de equilibrio, según la ecuación:



Señala cuál de los siguientes procedimientos te parece adecuado para aumentar la concentración de sólido:

- a) Aumentar la presión.
- b) Extraer NH_3 del recipiente.
- c) La pregunta es absurda.
- d) Disminuir la presión.
- e) No lo sé.

Explicación:

Nota.-En el cuestionario pasado a los alumnos de COU y del CAP, había dos preguntas en cada hoja y no existía ninguna pregunta partida.