

Revista de Educación en Ciencias

Journal of Science Education

Vol 1, N 1, pp 6-12, 2000

**FIJACIÓN Y REDUCCIÓN FUNCIONALES COMO RAZONAMIENTOS DE SENTIDO
COMÚN EN EL APRENDIZAJE DE LA QUÍMICA (I): EQUILIBRIO QUÍMICO.**

**Fuctional Fixedness and Functional reduction as common sense reasonings in chemistry learning
(I): Chemical Equilibrium.**

Furió C.⁽¹⁾, Calatayud M^aL.⁽²⁾

(1) Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. Universitat de València (Spain).

(2) I.B. Sorolla València (Spain).

Alcalde Reig, 8 - 46006 València, SPAIN, e-mail: Carles.Furio@uv.es

Resumen

Este trabajo presenta las dificultades de los estudiantes, pre y universitarios de Químicas, debidas a razonamientos de sentido común, como la fijación y la reducción funcionales, en dos áreas de la Química: la de los factores que afectan al equilibrio químico y la de la geometría y polaridad de las moléculas. En este primer artículo sólo se tratará el caso del equilibrio químico. La fijación funcional del Principio de Le Chatelier conduce a respuestas incorrectas en los ítems propuestos.

Palabras clave: reducción funcional, fijación funcional, aprendizaje, equilibrio químico.

Summary

This paper tries to find out the procedural difficulties of students (grade-12 , 1st and 3rd year of university) due to common sense reasoning in two areas of Chemistry: external factors affecting equilibria (chemical equilibrium) and geometry and polarity of molecules. This first paper is about the chemical equilibrium. The incorrect responses given to the proposed items using Le Chatelier principle are explained by functional fixedness.

Keywords: learning, functional reduction, functional fixedness, chemical equilibrium.

INTRODUCCIÓN

La investigación en las concepciones alternativas de los estudiantes está dirigiendo su atención hacia las formas espontáneas de razonar y proceder en la enseñanza-aprendizaje de las Ciencias (Pintó et al 1996). Estos razonamientos de "sentido común" que subyacen a las ideas previas pueden suponer *dificultades de tipo estratégico* que permitirían explicar las resistencias al cambio de preconcepciones muy persistentes. Algunas de estos obstáculos han sido descritos anteriormente en la psicología como *"defectos procedimentales"* en el contexto de la resolución de problemas cotidianos, por ejemplo, la *"fijación funcional"* (Anderson 1990).

Hace tiempo que la investigación psicológica en resolución de problemas detectó que la experiencia en ejercicios de aplicación de conceptos generaba una *"fijación funcional"* en los estudiantes siendo una de las principales dificultades del pensamiento creativo (Shearer 1963, Birch y Rabinowitz 1968, Fredericksen 1984).

Más recientemente, la investigación sobre razonamientos espontáneos en el aprendizaje de la física está mostrando que los estudiantes tienen dificultades provocadas por una forma de pensar denominada *"reducción funcional"* que se manifiesta cuando tienen que realizar un análisis funcional en cuestiones o problemas (Viennot 1989, 1992 y 1996). En estos casos los estudiantes disminuyen la complejidad de los problemas de mecánica, ondas o termodinámica reduciendo el número de variables que intervienen. Estos modos de razonar pueden estar basados en una *"metodología de sentido común"*, caracterizada por la ausencia de dudas o consideración de posibles soluciones alternativas; por contestaciones rápidas y seguras basadas en evidencias de sentido común (Gil y Carrascosa 1985); por la falta de consistencia en el análisis de diferentes situaciones (Hewson 1985); por razonamientos que siguen una secuencia causal simple (Anderson 1986) o el denominado razonamiento lineal causal (Closset 1983). La "metodología de sentido común" puede suponer un obstáculo importante en la adquisición de formas reflexivas, hipotéticas y productivas de pensar próximas a la construcción científica del conocimiento (Gil et al 1991).

Este trabajo trata de mostrar que estos razonamientos de "sentido común" también se pueden presentar en diversos dominios de la Química. Se tratará de contrastar que los principales errores conceptuales cometidos por los estudiantes en el equilibrio químico y la geometría y polaridad molecular pueden explicarse con base en la fijación y reducción funcionales. En este primer artículo, nos centraremos en los razonamientos empleados por los estudiantes cuando se les pregunta sobre el desplazamiento del equilibrio químico.

1. LA NECESIDAD DE ASOCIAR EL CAMBIO CONCEPTUAL CON EL METODOLÓGICO Y EPISTEMOLÓGICO EN EL APRENDIZAJE DE LA QUÍMICA.

A finales de la década de los 70 surgió con fuerza "el movimiento de las concepciones alternativas" (Wandersee et al 1994) dedicado al estudio de las ideas de los alumnos respecto de los conceptos científicos. La gran cantidad de resultados obtenidos en estos más de 20 años (Pfundt y Duit 1993) han permitido cuestionar que el aprendizaje es fácil y, también, los métodos de enseñanza habituales basados en la simple transmisión de los conocimientos científicos ya contruidos. Al mismo tiempo, estas investigaciones han generado nuevos modelos de enseñanza que ponen énfasis en la necesidad de tener en cuenta las ideas del alumnado y de favorecer un *cambio conceptual* que les aproxime a las ideas científicas (Posner et al 1982). La eficacia de estas estrategias de cambio conceptual es puesta de manifiesto a través de la investigación llevada a cabo en diferentes áreas de la didáctica (Hewson y Hewson 1986, Osborne y Freyberg 1985).

Otras investigaciones muestran que algunas concepciones alternativas, son resistentes a la instrucción (White y Gunstone 1989). En opinión de Gil y Carrascosa (1994) estos modelos de cambio conceptual están excesivamente centrados en la modificación o reestructuración de las ideas de los estudiantes y requieren tener en cuenta otros componentes del proceso de aprendizaje. Posner y oytos (1982) sugieren la existencia de cierto isomorfismo entre el aprendizaje y la investigación.

De lo anterior, se puede derivar que para que suceda un cambio conceptual no será suficiente tener en cuenta las ideas previas. El análisis histórico y epistemológico de la formación de teorías sugiere que un cambio de paradigma no es sencillo, ni puede reducirse a los cambios que ocurren en los conceptos. En general, estos cambios conceptuales van asociados a otros tipos de cambios como por ejemplo., a nuevas

formas de ver los fenómenos (*cambios ontológicos*), cambios en los intereses, actitudes o valores asumidos por la comunidad (*cambios axiológicos*) y, en particular, están muy ligados a nuevas formas de razonar y abordar los problemas (*cambios epistemológicos y metodológicos*) (Duschl y Gitomer 1991; Gil y Carrascosa 1985).

Asociar el cambio conceptual al cambio epistemológico y metodológico subsanaría uno de los defectos repetidamente denunciados en la enseñanza-aprendizaje de las Ciencias: el énfasis casi exclusivo del profesor en el *conocimiento declarativo*, en lo que sabe el estudiante, olvidando el *conocimiento procedimental y explicativo*, es decir cómo y por qué lo sabe (Duschl 1995). En definitiva, asociar aprendizaje e investigación, implica incorporar a las clases, el conocimiento procedimental y estratégico empleado en la práctica de la Ciencia. De aquí se deriva la necesidad de practicar explícita e integradamente, por una parte, los procesos y estrategias generales de la actividad científica y, por otra, los procedimientos, modelos de explicación, razonamientos, argumentos, etc. más particulares y contextualizados en temas específicos de los que nos puede informar la epistemología y la didáctica de las Ciencias.

2. LA FIJACIÓN Y LA REDUCCIÓN FUNCIONALES COMO FORMAS DE RAZONAMIENTO ESPONTÁNEO A TENER EN CUENTA EN EL APRENDIZAJE DE LA QUÍMICA.

Para que los estudiantes adquieran el conocimiento y las habilidades de la actividad científica, se ha de tener en cuenta no sólo sus ideas previas sino también cómo razonan con ellas. Así, otro análisis a realizar, desde una óptica constructivista, es el de las estrategias, procedimientos o razonamientos espontáneos que emplean los estudiantes en la enseñanza de la Química en temas y situaciones diferentes. Estos razonamientos espontáneos o inducidos por la propia enseñanza es de esperar que sean transversales a varios temas y se puedan derivar de la metodología de sentido común, desde un punto de vista fundamentado en la filosofía de la ciencia (Gil y Carrascosa 1985). Pero también los podemos encontrar en las dificultades detectadas por la psicología cognitiva al estudiar los métodos utilizados en la resolución de problemas ordinarios no científicos. En este trabajo nos ocuparemos de dos clases de estos razonamientos: *la fijación y la reducción funcionales*

En efecto, una de las características de la metodología de sentido común es el bajo estatus que se le da

al conocimiento procedimental ya que lo que más importa en la enseñanza habitual es que el estudiante dé una respuesta final como sea a lo que se le pregunta. En contraste con esta metodología, los procedimientos científicos suelen ser más ricos y rigurosos. Por ejemplo, en la contrastación de una hipótesis, en el análisis de resultados o en la resolución de un problema, es típico en Ciencias utilizar varios diseños experimentales o estrategias para ver si los resultados obtenidos son convergentes entre sí y con la misma teoría de partida.

Sin embargo, es frecuente encontrar en la enseñanza de la Química modelos de explicación o procedimientos que involuntariamente favorecen el aprendizaje repetitivo de una única estrategia que, muchas veces, no tiene significado físico o químico para el aprendiz. Si, además, diferentes profesores reiteran este mismo algoritmo como si estuvieran, por ejemplo., enseñando memorísticamente a dividir o multiplicar, puede producirse la *fijación funcional* de este procedimiento que, aunque le permite al alumno llegar a una conclusión final, puede impedir nuevas formas de imaginar otras estrategias y, por tanto, dificulta el pensamiento creativo o productivo (Frederiksen 1984).

La fijación funcional puede encontrarse tanto en el aprendizaje de conceptos como en la resolución de problemas de Química. Así p.e., hemos encontrado en estudiantes de 3º de B.U.P. y de Química del Curso de Orientación universitaria (COU) que "fijan las masas de reaccionantes" en preguntas de aplicación sobre la ley de las proporciones constantes. Así cuando se les pregunta qué ocurrirá al mezclar 4 g de Cu con 3 g de S (sabiendo que la proporción de combinación en peso de Cu a S es de 2 a 1) responden mayoritariamente que seguirán reaccionando 2 g de Cu con 1 de S y, por consiguiente, sobrarán los otros 2 g de Cu y 2 g de S (Furió et al 1994). En otros casos, por el contrario, esta fijación funcional se manifiesta dándole a un concepto una generalización que se sale de su campo de validez. Mucho más frecuente es la fijación de una estrategia en forma de algoritmo tipo que se asocia rápidamente a una clase de problemas sin reflexionar en su resolución.

En efecto, la investigación sobre resolución de problemas de equilibrio químico basada en la psicología del procesado de la información muestra que *"la mayor parte de los problemas se solucionan por los estudiantes mediante la aplicación directa de una única manera que conduce a la fijación de una asociación estímulo-respuesta (acción-reacción) que es fácilmente recordada porque se emplea una o dos etapas en el proceso"* (Camacho y Good 1989).

Aparte de la dificultad que puede suponer tener fijada en exceso una representación de la estrategia de resolución de un problema en la memoria de largo plazo, pueden presentarse otros modos de

razonamientos espontáneos o inducidos que la investigación ha titulado como "*reducción funcional*". Viennot (1989, 1992 y 1996) define este concepto como aquella tendencia a razonar en la que no se tienen en cuenta todas las posibles variables que influyen en un problema.

Se pueden presentar varias modalidades de reducción funcional. El caso más general consiste en reducir una función que depende de varias variables a la dependencia exclusiva de una de aquellas variables. Es decir, sería como si un efecto que puede ser producido por varias causas, se redujera a un causalismo simple del tipo "un efecto es producido por una sola causa".(Anderson 1986).

Se presenta otro tipo de reducción funcional cuando los estudiantes tratan con la constancia de ciertas magnitudes. En estos casos se tiende a no considerar aquellas variables que no aparecen explícitamente en la definición operativa de la constante. Un ejemplo de este tipo de reduccionismos sería el que se manifiesta cuando se pregunta qué le ocurrirá al valor de la constante de equilibrio de una reacción química si se eleva la temperatura. Se suele razonar diciendo que el valor seguirá siendo el mismo porque la T no aparece en la ley de equilibrio definida para el proceso.

Una tercera modalidad de *reducción funcional* se presenta cuando los alumnos no diferencian magnitudes que están relacionadas epistemológicamente. Es frecuente observar en las respuestas a cuestiones y problemas de Química que los estudiantes confunden la masa con la concentración en masa o la cantidad de sustancia, n , con la concentración en cantidad de sustancia, c (Furió y Ortiz 1983, Bergquist y Heikkinen 1990). Una explicación basada en la reducción funcional consistiría en la siguiente: el estudiante toma (c) y (n) como iguales porque ellos sólo consideran el 'número de moles' y dejan de lado el volumen de la disolución como variable también necesaria para averiguar la concentración.

También se considera como reducción funcional el denominado por Rozier (1989) *razonamiento lineal causal* que normalmente se presenta en situaciones que requieren argumentos complejos y donde el alumno va disminuyendo la complejidad del problema a base de construir implicaciones simples del tipo "*una causa produce un efecto*" en forma de cadena lineal (sin ramificaciones en la argumentación) que avanza secuencialmente hasta llegar a la solución final. Un ejemplo prototípico es el que se presenta, por ejemplo, al resolver las cuestiones o problemas de circuitos eléctricos en el que los estudiantes establecen una serie concadenada de varias etapas simples siguiendo paso a paso los componentes del circuito sin tener en cuenta los componentes que vienen después y sin tener previamente un planteamiento global que les oriente en la resolución.

3. LA FIJACIÓN Y LA REDUCCIÓN FUNCIONAL EN EL CASO DEL EQUILIBRIO

QUÍMICO

En este contexto, el trabajo pretende mostrar cómo muchas de las dificultades del aprendizaje en dominios específicos de la Química tienen su fundamento no sólo en el conjunto de ideas que ya tiene el estudiante sino en el conocimiento procedimental y estratégico de 'sentido común' empleado al relacionarlas o, en razonamientos inducidos por una enseñanza de la Química que no tiene entre sus objetivos la familiarización de los estudiantes con la actividad científica. Así pues, el problema investigado trata de averiguar en qué medida los estudiantes pre y universitarios de Química tienen dificultades procedimentales debidas a razonamientos como la fijación y la reducción funcionales en el equilibrio químico.

Se propone una hipótesis sobre estas dificultades metodológicas en el caso del equilibrio químico:

Hipótesis .1.- Los razonamientos empleados por los estudiantes al explicar los cambios producidos cuando se modifican las condiciones del equilibrio químico se caracterizarán por utilizar casi en exclusiva la generalización del principio de Le Chatelier. Esta fijación funcional estratégica será una de las dificultades principales a la hora de imaginar soluciones a cuestiones no familiares.

4. DISEÑO PARA CONTRASTAR LA EXISTENCIA DE FIJACIÓN FUNCIONAL DEL PRINCIPIO DE LE CHATELIER AL RAZONAR SOBRE EL EQUILIBRIO QUÍMICO.

Se han propuesto cuatro ítems (cuestionario 1) en los que fuera disminuyendo paulatinamente la familiaridad de la tarea. Para realizar este diseño se ha tenido en cuenta el resultado de un análisis de cómo se explican estas cuestiones cualitativas en unos 40 libros de texto de Química de Secundaria (nivel avanzado) y de Universidad que se había obtenido previamente (Furió y Escobedo 1994). Los cuatro ítems seleccionados se muestran en el cuestionario 1 (apéndice 1)

Este cuestionario fue aplicado a un total de 45 estudiantes de Química de COU (Curso de Orientación Universitaria) de dos Institutos de Secundaria de Valencia, 60 de primer curso y 90 de tercer curso de Químicas de la Universidad de Valencia. Los estudiantes de Química de COU habían estudiado una vez el tema de equilibrio químico, los de 1º de Química dos veces y los de 3ª de Química tres veces. En todos los ítems se les pidió a los estudiantes que razonaran sus respuestas.

El análisis de las explicaciones empleadas por los estudiantes al contestar se ha dirigido, en primer lugar, a ver la diversidad de razonamientos usados en aquellas respuestas cuya conclusión final es correcta. En segundo lugar, si como se presume en la Hipótesis 1 existe una fijación funcional en la que se aplica mayoritariamente el principio de Le Chatelier, también se analizarán los argumentos empleados en las respuestas incorrectas. Es decir, se verá en qué medida el aprendizaje memorístico de aquel razonamiento y la reducción funcional pueden ser las causas principales de las respuestas equivocadas dadas a los ítems tres y cuatro más difíciles. La clasificación de las explicaciones se hará en función de todas las posibles, encontradas en la bibliografía. Así pues, se han tenido en cuenta las siguientes categorías para clasificar los razonamientos:

- A) Razonamiento de tipo probatorio basado en la experiencia física del estudiante (por ejemplo : sucede así porque así se observa).
- B) Argumento causal fundamentado en el principio de Le Chatelier (generalización inducida por la enseñanza con muy poca significación química para el estudiante).
- C) Explicación causal que utiliza implícita o explícitamente la definición operativa de la constante de equilibrio del proceso.
- D) Razonamiento causal de tipo cinético que descansa sobre el carácter dinámico del equilibrio químico (por ejemplo el sentido de evolución del sistema se decide a partir de la no igualdad de las velocidades directa e inversa al variar las concentraciones de los reactantes o de los productos).
- E) Explicación causal macroscópica que se basa en alguna de las diferentes presentaciones del segundo principio de la Termodinámica (por ejemplo disminución de la energía libre del sistema).
- F) Incodificables.

Aunque es posible efectuar una valoración de la calidad de las explicaciones empleadas por los estudiantes, para los objetivos propuestos en este trabajo, sólo nos hemos limitado a clasificar el tipo de respuesta independientemente de si el razonamiento es o no coherente y válido científicamente.

5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS ENCONTRADOS.

5.1 ¿ Cómo explican los estudiantes la perturbación de un sistema físico-químico en equilibrio?

En la tabla I se presentan los porcentajes de las explicaciones dadas por las muestras de estudiantes pre y universitarios al cuestionario uno sobre desplazamiento del equilibrio.

Tabla I. Porcentaje de respuestas de estudiantes de COU y universitarios al cuestionario sobre el equilibrio químico.

Ítem	nivel	Porcentaje de respuestas correctas	Porcentaje de tipo de razonamiento dado en las respuestas correctas						Observaciones
			(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	
1	COU	62	-	58	-	-	-	4	-18% de respuestas incorrectas usa (B) y el 20% en blanco
(N ₂ O ₄)	(N=50)								
	1°-Univ	58	-	54	2	-	-	2	-22% de respuestas incorrectas usa (B) y el 17% en blanco
	(N=60)								
	3° Univ	81	-	72	7	-	-	-	-7% de respuestas incorrectas usa (B) y el 12% en blanco.
	(N=90)								
2	grade-12	49	28	-	10	9	-	2	En este ítem sobre equilibrio físico la diversidad de explicaciones aumenta en función del nivel académico de los estudiantes
etanol	1° Univ	47	23	9	6	7	-	2	
	3° Univ	60	24	24	4	5	3	-	
3	grade-12	13	3	-	7	-	-	3	-87% de respuestas incorrectas usa (B).
(CaCO ₃)	1° Univ	17	7	-	7	-	-	3	-60% de respuestas incorrectas usa (B).
	3° Univ	27	10	-	15	-	-	2	-73% de respuestas incorrectas usa (B).
4	grade-12	10	-	9	-	-	-	1	-50% dice que no influye y 40% en blanco.
(PCl ₅)	1° Univ	3	-	3	-	-	-	-	-52% dice que no influye y 30% en blanco.
	3° Univ	12	-	10	-	-	-	2	.-60% dice que no sucede nada y 16% en blanco.

(A) Razonamiento basado en la experiencia (empírico).

(F) Incodificable

(B) Explicaciones basadas en el Principio de Le Chatelier.

(C) Argumentos basados en la definición operativa de la constante de equilibrio, K.

(D) Explicación microscópica de tipo cinético.

(E) Razonamiento macroscópico de tipo termodinámico

El análisis de estos resultados permite derivar los siguientes comentarios:

a) El razonamiento B basado en la aplicación implícita o explícita del principio de Le Chatelier es prácticamente el que se utiliza casi en exclusiva en las respuestas correctas dadas a los ítems uno y cuatro, así como en las incorrectas de los ítems uno, tres y cuatro. Un ejemplo prototípico de respuesta final correcta al ítem uno (equilibrio $\text{N}_2\text{O}_4 (\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2 (\text{g})$) es la siguiente:

"Si aumentamos la presión, el sistema evoluciona hacia donde tenga menor número de moles; es decir, hacia la formación de los reactivos" (1º curso)

b) Solamente puede decirse que hay *"diversidad explicativa"* en los razonamientos dados en el ítem dos relativo a un equilibrio físico como el de la evaporación-condensación de alcohol. En las respuestas correctas a este ítem dos abunda, en general, la explicación empírica que trata de describir la experiencia física de los estudiantes. No obstante, conforme se eleva el nivel formativo de los estudiantes los razonamientos van siendo más variados. En la tabla II se exponen ejemplos de los diversos razonamientos empleados en respuestas correctas por los estudiantes de 3º curso:

Tabla II. Ejemplos de explicación dados en las respuestas correctas del ítem 2 (equilibrio líquido \leftrightarrow vapor)

<i>Tipo Categoría de respuesta</i>	Ejemplo de respuesta
A -Razonamiento descriptivo empírico	"Porque el alcohol es volátil y cuando aumenta la temperatura se evapora fácilmente"
B - Argumento basado en el Principio de Le Chatelier	"Ya que es una reacción endotérmica, al aumentar la temperatura el sistema ya no está en equilibrio y evoluciona para alcanzar de nuevo el equilibrio hacia la formación del alcohol vapor". "Si la temperatura aumenta la presión de vapor aumenta, (en el equilibrio) y el sistema evoluciona para conseguir otro equilibrio hacia donde haya más vapor".
C - Explicación que implícitamente usan la variación de la constante de equilibrio con la temperatura .	"Las moléculas de alcohol (<i>l</i>) aumentan su energía cinética cuando la temperatura aumenta y ellas pueden escapar a la atracción de otras moléculas, cambiando ellas mismas a gas". "La evaporación es un proceso favorecido entrópicamente $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ y cuando la temperatura aumenta, ΔG disminuye y el proceso se favorece".
D - Explicación causal Cinética.	

E - Explicación causal Termodinámica	
--------------------------------------	--

c) Precisamente la fijación funcional estratégica del principio de Le Chatelier parece ser la causa principal de que la mayoría de los estudiantes lleguen a conclusiones equivocadas en los ítems tres y cuatro. Así en el ítem tres relativo a la adición de CaCO_3 en el equilibrio de su descomposición los estudiantes de COU, 1º y 3º contestan correctamente en porcentajes de 13%, 17% y 27%, respectivamente. En el análisis de los argumentos de las respuestas incorrectas a este ítem tres se observa que el 87% de COU (es decir, todos los restantes de la muestra), el 60% de 1º y el 73% de 3º (también, todos los restantes) razonan aplicando directamente el principio de Le Chatelier como muestra el ejemplo siguiente:

"Por el principio de Le Chatelier que dice que todo sistema tiende a minimizar cualquier acción sobre él para alcanzar el equilibrio que se ha roto, tendríamos que añadir más CaCO_3 el sistema evolucionará hacia los productos" (3º curso).

En este caso concreto, el rápido reconocimiento y recuperación por la memoria de la estrategia requerida para resolver la cuestión, impide al sujeto reflexionar que se trata de un equilibrio en el que se añade sólido. En esta contestación concreta también parece que contribuye a la respuesta, el error conceptual donde se identifica masa con concentración. Error que ya fue detectado en estudiantes universitarios en otros trabajos (Furió y Ortiz 1983; Berquist y Heikkinen 1990)

Al mismo análisis se llega cuando los estudiantes tratan de explicar qué sucederá en el equilibrio de descomposición del gas PCl_5 cuando se adiciona argón (gas inerte) a presión y temperatura constantes (ítem 4). En efecto más de la mitad de cada una de las tres muestras concluye que "no pasa nada" porque todo permanece constante:

"Porque al ser un gas inerte, si no reacciona con nadie y no alteramos ni la presión, ni la temperatura, ni el volumen, el sistema permanecerá en equilibrio. El argón es inerte y no reacciona con nadie" (3º curso)

La fijación funcional estratégica de que no cambia nada a pesar de que se agrega algo, es la que puede

haber impedido que los alumnos no vayan más allá del argumento en una única etapa. Pocos son (un 10% en 3º) los que son capaces de argumentar correctamente en dos etapas, donde además de aplicar el principio de Le Chatelier, se dan cuenta de que añadir argón al sistema a presión y temperatura constantes, supone algún cambio en el sistema. En este caso, como la presión total se considera constante habrá de aumentar el volumen del sistema y, en consecuencia, disminuirán las concentraciones o presiones parciales de todos los reactantes como lo explica el siguiente razonamiento dado por un alumno y que se ha tipificado como B:

"Si la presión total permanece constante pero tengo más gases, las presiones parciales serán menores y para contrarrestar este efecto el sistema va hacia la derecha" (3º curso)

Por otra parte, la poca familiaridad del contenido de este ítem cuatro explica que haya un elevado porcentaje de respuestas en blanco en las muestras de estudiantes de COU (40%) y de 1º (30%), si bien ya no es tan comprensible en estudiantes de 3º de Facultad (el 16%).

Al mismo tiempo una observación cuidadosa de las respuestas a este ítem permite aflorar algunas explicaciones donde explícitamente *el volumen del sistema se hace depender en exclusiva de la presión total* y que responden al tipo de razonamiento catalogado anteriormente como caso general de *"reducción funcional"* (Viennot, 1992), como por ejemplo:

"Si la presión total se mantiene constante, el volumen también se mantendrá constante y como el gas tampoco reacciona, el sistema se queda en el mismo estado" (1º curso)

6.CONCLUSIONES E IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

El análisis de los resultados obtenidos en esta investigación nos muestra que el conocimiento procedimental utilizado por los estudiantes pre y universitarios de Química, cuando tienen que explicar situaciones de desplazamiento del equilibrio, es bastante pobre. En efecto, los estudiantes aplican mecánicamente y en exclusiva razonamientos basados en el principio de Le Chatelier incluso en situaciones como la adición de sólido en un equilibrio heterogéneo que no supone variación de la concentración de dicho reactante. También se ha observado que la fijación memorística de esta forma de razonar dificulta que los estudiantes puedan reflexionar sobre nuevos enfoques e imaginar otras respuestas al preguntar lo que sucederá al añadir un sólido o un gas inerte a un sistema gaseoso en equilibrio.

El bajo rendimiento en el conocimiento procedimental de los estudiantes manifestado en las respuestas al cuestionario uno, nos está indicando los tipos de razonamiento que comúnmente enseñamos

y qué destrezas cognitivas se está favoreciendo en clase de Química. Los profesores deberíamos tener presente que los estudiantes ya poseen formas de enfocar las cuestiones y problemas prototípicas de la metodología y epistemología de 'sentido común' (por ejemplo repitiendo mecánicamente una estrategia, dando respuestas rápidas y seguras basadas en evidencias, sin reflexionar sobre posibles soluciones alternativas, ...).

Tendríamos que planificar nuestra enseñanza tratando de familiarizar a los alumnos con formas de razonar y proceder más próximas a la epistemología científica, si estamos de acuerdo en que no sólo hay que aprender conocimientos químicos sino también intentar "hacer Química" en clase, introduciendo actividades propias del razonamiento científico. Así, para evitar la fijación funcional de una estrategia como la del principio de Le Chatelier, se podría impulsar la utilización de diversas estrategias. Por ejemplo, una vez los estudiantes han resuelto una de estas cuestiones de desplazamiento del equilibrio mediante la aplicación del principio de Le Chatelier, se les puede solicitar que evalúen si el resultado obtenido es o no correcto. Esta actividad de 'análisis de resultados' favorecerá, sin duda, la búsqueda de diferentes formas de razonamiento como, por ejemplo, la basada en el carácter dinámico del equilibrio que es mucho más rica y significativa para los estudiantes porque tienen que pensar en términos de moléculas y de mecanismos elementales de reacción. Pero lo más importante, será que si este análisis de resultados se reitera en muy diferentes problemas propuestos durante el curso, el estudiante podrá adquirir como destreza cognitiva la necesidad de analizar la consistencia de los resultados obtenidos usando diferentes estrategias en un dominio concreto de la Química.

En un próximo artículo se mostrará que este tipo de razonamientos (fijación y reducción funcionales) son generales y no sólo se refieren al caso del equilibrio químico sino que es un modo de razonar que también se manifiesta en otras áreas de la Química como en la determinación de la geometría y polaridad de las moléculas.

Bibliografía

Anderson, J.R. (1990) *Cognitive Psychology and Its Implications* (New York: W.H. Freeman).

Anderson, B(1986)The experimental Gestalt of Causation: a Core to Pupils'Preconception in Science. *European Journal of Science Education*, 8,155-178

Bergquist, W y Heikkinen, H. (1990). Student Ideas Regarding Equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 67 (12), 1000-1003.

Birch, H.G. & Rabinowitz, H.S. (1968). The negative effect of previous experiences on productive thinking. In Watson, Johnson- Laurel (eds), *Thinking and Reasoning* (New York: Penguin Books).

Camacho, M. & Good, R. (1989). Problem solving and chemical equilibrium: successful versus unsuccessful performance. *Journal for Research in Science Teaching*, 26 (3), 255-272.

Closset, J.L.(1992). Raisonnement en électricité et en hydrodynamique. *ASTER*, 14, 143-155.

Duschl, R.A. (1995). Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (1), 3-14.

Duschl, R.A. y Gitomer, D. (1991). Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice, *Journal for Research in Science Teaching*, 28 (9), 839-858.

Fredericksen, N. (1984) Implication of cognitive theory for instruction in problem solving. *Review of Educational Research*, 54 (3), 363-407.

Furió, C., Bullejos, J. y de Manuel, E. (1994). L'apprentissage de la réaction chimique comme activité de recherche, *ASTER* N° 18, 141-164.

Furió C. y Escobedo M. (1994) La fijación funcional en el aprendizaje de la química . Un ejemplo paradigmático: el uso del Principio de Le Chatelier . *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, n°8, 109-124.

Furió, C. y Ortiz, E. (1983). Persistencia de errores conceptuales en el equilibrio químico, *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1), 15-20.

Gil, D. y Carrascosa, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7 (3), 231-236.

Gil, D. y Carrascosa, J. (1994). Bringing pupils learning closer to a scientific construction of knowledge: A permanent feature in innovation in science teaching, *Science Education*, 78(3), 301-315.

Gil, D., Carrascosa, J., Furió, C. y Martínez Torregrosa (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. (Barcelona: Horsori).

Hewson, M.G. y Hewson, P.W. (1984). Effect of instruction using students' prior knowledge and conceptual strategies on science learning. *European Journal of Science Education*, 6 (1), 1-6

Hewson, P.W. y Thorley, N.R. (1989). The conditions of conceptual change. *International Journal of Science Education*, 11, special issue, 541-553.

Osborne, R. y Freyberg, P. (1985). *Learning in science*. Portsmouth, NH: Heinemann.

Pintó, R., Aliberas, J., y Gómez, R. (1996). Tres enfoques de la investigación sobre concepciones

alternativas. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (2), 221-232.

Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. & Gertzog, W.A. (1982). Accomodation of a scientific conception: Towards a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-217.

Pfund, H. and Duit, (1993). *Bibliography: Students'alternative frame works and Science Education*, IPN,University of Kiel.

Rozier, S. (1989). *Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique élémentaire, Thèse, Université Paris 7, L.D.P.E.S.*

Selvaratnam, M, y Kumarasinghe,S. (1991). Student conceptions and competence concerning quantitative relationships between variables. *Journal of Chemical Education*, 68(5), 370-372.

Shearer, M. (1963). Problem Solving. *Scientific American*, April, 2-9.

Viennot, L. (1992). Raisonnement à plusieurs variables: tendances de la pensée commune. *ASTER*, nº 14, 127-141.

Viennot L(1989). Obstacle epistémologique et raisonnement en physique: tendance au contournement des conflits chez les enseignants. In *Construction des savoirs: Obstacles et conflits*. Ottawa: Agence d'ARC, Inc.

Viennot L (1996). *Raisonner en physique*. Paris-Bruxelles: De Boeck.

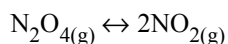
Wandersee, J.H., Mintzes, J.J., y Novak J.D. (1994). Research on alternative conceptions in science. En Gabel D.L. (editor), *Handbook of research on science teaching and learning* (New York: Macmillan Pub. Co.).

White, T.R. y Gunstone, F.R (1989). Metalearning and conceptual change. *International Journal of Science Education*, 11, 577-586.

APENDICE 1

Cuestionario 1

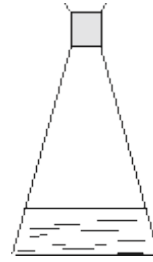
Ítem 1. Un matraz cerrado que contiene $\text{N}_2\text{O}_{4(g)}$ y $2\text{NO}_{2(g)}$ a 25°C está en equilibrio de acuerdo con la siguiente reacción:



Predecir como evolucionará el sistema si la presión total aumenta a una temperatura dada. Justificar la respuesta

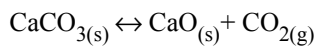
Ítem 2. La figura representa un erlenmeyer cerrado, que contiene alcohol líquido en equilibrio con su vapor. Si se aumenta la temperatura de este sistema se puede decir que:

- a) Parte del alcohol inicial se ha condensado
- b) El sistema continúa en el mismo estado de equilibrio
- c) Parte del alcohol inicial se ha evaporado
- d) No lo sé



Explicación:

Ítem 3. Una cápsula cerrada contiene $\text{CaCO}_{3(s)}$, $\text{CaO}_{(s)}$, y $\text{CO}_{2(g)}$ en equilibrio de acuerdo con la siguiente reacción:



Si se añade CaCO_3 a temperatura constante, explicar como evolucionará el sistema.

Ítem 4. Un matraz contiene $\text{PCl}_{5(g)}$, $\text{PCl}_{3(g)}$, y $\text{Cl}_{2(g)}$ en equilibrio de acuerdo con la siguiente reacción: $\text{PCl}_{5(g)} \leftrightarrow \text{PCl}_{3(g)} + \text{Cl}_{2(g)}$

Predecir que sucederá si se añade un gas inerte, argón, a temperatura y presión constantes:

- a) El sistema evoluciona hacia la derecha descomponiéndose más PCl_5
- b) El sistema evoluciona hacia la izquierda formándose más PCl_5
- c) El sistema permanece en el mismo estado de equilibrio, no se forma ni se descompone PCl_5 .
- d) No lo sé.

Explicación:

