

*La fijación funcional en el aprendizaje de la química. Un ejemplo paradigmático: usando el principio de Le Chatelier**

Furió, C.

*Departament de Didàctica de les Ciències
Experimentals i Socials. Universitat de València*

Escobedo, M.

I.B. de Torrent (València)

Introducción

Los modelos constructivistas basados en el cambio conceptual están generando una serie de estrategias de enseñanza que están excesivamente centradas en los contenidos conceptuales y aunque sus resultados son más eficaces que los obtenidos en la enseñanza habitual, no son del todo satisfactorios. Las investigaciones sobre otros aspectos clave de la enseñanza de las Ciencias diferentes al aprendizaje de conceptos, tales como la resolución de problemas o los trabajos prácticos han demostrado la necesidad de integrar el *cambio metodológico* en el aprendizaje con el fin de favorecer la familiarización de los estudiantes con

la metodología científica (Gil et al. 1991). No obstante, también puede apreciarse esta necesidad en el dominio específico del aprendizaje de conceptos.

En efecto, una de las formas de evidenciar la necesidad de este cambio metodológico puede consistir en mostrar las deficiencias de cómo se enseña habitualmente a razonar en la introducción y aplicación de conceptos en Química. Para ello se ha considerado idóneo el concepto de equilibrio químico impartido al final de la educación secundaria y, en particular, cuando se tiene que aplicar en situaciones de aprendizaje donde se plantean cambios en las condiciones de un equilibrio. Este es uno de los aspectos cualitativos del equilibrio químico más debatido en

(*) Comunicación presentada en el II Coloquio Internacional de Enseñanza Superior de la Química en Lenguas Latinas (Málaga, 1992).

la investigación didáctica (Banerjee y Power 1991; Chastrette 1992) donde se ha puesto en cuestión la validez e idoneidad de las explicaciones basadas en el Principio de Le Chatelier (Allsop y George 1984; Bridgart y Kemp 1985; Gold y Gold 1985). Es sabido que en este tema aparecen dificultades de aprendizaje importantes como lo demuestra la existencia de un conjunto de errores conceptuales (Furió y Ortiz 1983; Hackling y Garnett 1985) que no pueden achacarse a ideas espontáneas de los estudiantes sino, más bien, a defectos metodológicos que están más o menos implícitos en el paradigma de enseñanza de las Ciencias basado en la transmisión verbal de los conocimientos ya elaborados (Gil 1983).

Así pues, el objetivo de este trabajo consiste en demostrar que sin un cambio metodológico que aproxime las estrategias de razonamiento de los estudiantes al conocimiento procedimental y explicativo de los científicos no es posible conseguir un aprendizaje significativo de la Química. En este sentido se tratará de mostrar que todo aprendizaje de conceptos que se fundamenta en procesos asociativos donde no se favorezca la familiarización con la metodología científica sino, al contrario, se primen metodologías de "sentido común" en el razonamiento caracterizadas por la adquisición de un conocimiento procedimental y explicativo pobre generará construcciones poco significativas. Y, en consecuencia, el conocimiento declarativo adquirido por los estudiantes vendrá gobernado por las leyes de la asociación estímulo-respuesta típicas del conductismo, donde

el éxito en la tarea será función de la familiaridad (contigüidad y frecuencia del estímulo (Ausubel 1982). Por consiguiente, una enseñanza del equilibrio químico con estas características no sólo no favorecerá el pensamiento creativo típico de la metodología científica sino que producirá en los estudiantes la *fijación funcional* de unas pocas explicaciones causales que emplean como reglas seguras de inferencia pero que, en el fondo, carecen de significación química para ellos.

1. El problema: el cambio metodológico y la comprensión de la Química.

En cualquier tipo de aprendizaje el profesor trata de enseñar conceptos y principios, relaciones entre éstos, etc... y para ello implícitamente emplea otra clase de conocimientos tales como razonamientos, estrategias, explicaciones, etc... con los cuales trata de favorecer la comprensión de las teorías científicas. Desde un punto de vista filosófico, esta amplia gama de conocimientos se pueden clasificar en tres grandes grupos (Wellington 1989; Pozo et al 1991):

- a) El *conocimiento declarativo*, también llamado descriptivo o factual, por medio del cual sabemos expresar en forma de proposiciones, p.e., lo que sucede o lo que pensamos sobre un concepto. Este conocimiento trata de responder al qué es o qué pasa, como por ejemplo cuando se expresa qué es el equilibrio químico o qué sucede al introducir más reactivo en un equilibrio dado;

b) El *conocimiento procesual o procedimental* relativo a las habilidades o destrezas que se dominan y que, en general, se demuestran a través de la acción a modo de ciertos “saber hacer”. Este tipo de conocimiento es el que se manifiesta cuando se responde al cómo se hace una cosa y, en general, se tiene que demostrar haciéndola pero también existe, en términos de razonamiento, un conocimiento procesual cuando se expresan los argumentos de una respuesta en forma proposicional. Por ejemplo, cuando se interpreta cómo se puede producir más amoníaco en un sistema en equilibrio que contiene este gas y sus elementos o, de forma más general, cuando se supone cómo se alcanza un equilibrio;

c) El *conocimiento explicativo* implica el dominio de teorías (entendidas como construcciones dinámicas de hipótesis entrelazadas) que dan significado y profundidad a los dos tipos de conocimientos anteriores y, a su vez, se caracteriza por ser predictivo. Este tipo de conocimiento da respuesta al por qué de los hechos, conceptos, etc... y podemos categorizarlo de manera simple como pensamiento causal.

Las tres clases de conocimiento son igualmente importantes en la enseñanza de la Química y aunque normalmente un profesor persigue en sus estudiantes el dominio explícito del conocimiento declarativo de las teorías científicas, es evidente que el problema de su comprensión -y, por tanto, el de su significación- está fuertemente ligado a los conocimientos procedimental y

explicativo y, en particular, a las formas o estrategias de razonamiento empleadas para favorecer aquel dominio. Se comprende así que en un aprendizaje de orientación constructivista donde se persiga el saber y la comprensión de la Química se tenga que relacionar necesariamente el cambio conceptual con el cambio metodológico (Gil et al 1991).

De ahí el interés que actualmente está despertando en la investigación educativa el estudio de las explicaciones, los razonamientos, los argumentos, etc... utilizados por los estudiantes pre y universitarios en dominios especializados de las Ciencias (Otero 1989; Rozier y Viennot 1990). Por ello este trabajo se centra en el análisis del conocimiento declarativo terminal (producto) y de las explicaciones (procesos) que dan los estudiantes de Química de COU y de Magisterio cuando se les cuestiona sobre diversas situaciones de desplazamiento del equilibrio químico. El problema de fondo en el que se pretende incidir consiste en ver si la enseñanza habitual de la Química favorece la construcción significativa de los conceptos o, por el contrario, seguimos anclados en un aprendizaje asociativo poco significativo de los mismos.

En este último supuesto habrá que precisar más el problema y demostrar que el conocimiento declarativo final adquirido por los estudiantes en situaciones concretas como las de cambio de las condiciones de un equilibrio puede ser explicado en base a las variables manejadas en un aprendizaje asociativo. Consecuentemente, analizar si este conocimiento declarativo adquirido es o

no significativo obligará a plantearse el estudio del conocimiento procedimental y explicativo en el que aquél se apoya. En concreto, el trabajo se destinará a contestar las cuestiones siguientes:

—¿Las teorías del aprendizaje asociativo pueden predecir la adquisición de conocimiento declarativo de los estudiantes en situaciones de cambio de las condiciones de un equilibrio químico?

—¿En qué medida el conocimiento procedimental mostrado por los estudiantes que dan una contestación correcta será congruente con las características esenciales del “saber procedimental” usado en el trabajo científico?

La primera de ellas se dedica a constatar el saber declarativo de los estudiantes y la segunda más centrada en explorar su comprensión química.

2. A modo de hipótesis: El aprendizaje asociativo del equilibrio químico no favorece su comprensión conceptual.

La fundamentación de esta hipótesis general exige profundizar en la causa de que un aprendizaje repetitivo vaya acompañado, en general, por adquisiciones procedimentales y explicativas pobres y, consecuentemente, no favorezca la comprensión del conocimiento declarativo manifestado.

El aprendizaje basado en procesos asociativos no significativos se preocupa por la búsqueda de una conducta final (respuesta) del estudiante al presentarle un signo (estímulo) sin que importe

mucho el curso de los razonamientos seguidos para llegar a ese conocimiento declarativo (Skinner 1971). El mecanismo básico de este tipo de aprendizaje se fundamenta en un proceso de condicionamiento operante al presentarle de forma repetida un estímulo que acaba por producir una respuesta terminal más o menos exitosa donde el signo queda asociado (y confundido con) al significado, si bien la estructura cognitiva del aprendiz no queda modificada sustancialmente (Ausubel 1982). Una enseñanza de este tipo perseguirá como objetivo la adquisición de conocimiento declarativo final de, p.e., la ley del equilibrio químico y se preocupará menos del cómo y porqué se llega a dicho final. Por ejemplo, una estrategia de enseñanza basada en la presentación de una tabla de valores de las concentraciones finales de las sustancias participantes en un proceso químico para mostrar la existencia de una regularidad y su posterior repetición y generalización por el alumno en otros ejemplos concretos puede llevar a la asociación del cociente entre el producto de las concentraciones de las sustancias producto y el de las concentraciones de las reaccionantes con la ley del equilibrio químico. Se habrá así conseguido un aprendizaje mecánico de un conocimiento declarativo, pero es claro que esta construcción será poco significativa para el propio estudiante ya que estará lejos de explicar el cómo y el por qué de este hecho; es decir, reconocerá la ley del equilibrio pero no la comprenderá. Por supuesto que el profesor que haya presentado de esta forma empirista el equilibrio, habrá manejado implícita o explícita-

mente un razonamiento inductivo –observación, experimentación y generalización– y por ello cuando se le cuestiona por la causa de que así suceda contestará de forma coherente: ‘porque así se observa experimentalmente no sólo en los n casos planteados sino también en cualquier $n+1$ que uno pueda imaginar’. Se está usando una estrategia de comprobación de una verdad previamente aceptada -verificación- como regla de inferencia que frecuentemente se emplea en contextos ordinarios. Por el contrario, se puede presentar el tema mediante razonamientos hipotético-deductivos que parten de unas teorías ya conocidas (cinéticas o termodinámicas) para tratar de deducir, en general, la ley del equilibrio. Con ello se está utilizando un conocimiento procedimental más riguroso porque se pueden diversificar las estrategias de falsación de la hipótesis, se pueden hacer análisis más cuidadosos de las situaciones tratadas porque se han establecido previamente los supuestos en los que es válido dicho conocimiento, etc... Estas explicaciones serán más potentes que en el caso anterior puesto que permitirán avanzar predicciones y hechos en otras direcciones y, por tanto, permitirán ser más creativos.

En consecuencia, se puede avanzar la siguiente hipótesis:

“El aprendizaje asociativo favorecerá la repetición del conocimiento declarativo de las teorías científicas y se apoyará en la reproducción de conocimientos procedimentales y explicativos similares a los que se emplean en contextos ordinarios diferentes a los habitualmente utilizados en contextos científicos”.

De esta hipótesis principal que, en otras palabras, viene a indicar que sin cambio metodológico será difícil la comprensión conceptual de la Química, se pueden derivar consecuencias que permitan contrastarla, tales como, por ejemplo:

C.1 ‘Si el aprendizaje es memorístico el éxito obtenido por los estudiantes ante situaciones de cambio de las condiciones de un equilibrio químico donde tengan que poner en acción su conocimiento declarativo de este concepto será función de la familiaridad escolar del estímulo’.

La segunda consecuencia contrastable que reafirmará que el aprendizaje obtenido es asociativo y no constructivo se deriva directamente de la necesidad del cambio metodológico para que haya comprensión del concepto estudiado. Habrá, pues, que clarificar las diferencias existentes entre las características de los razonamientos que se emplean en la metodología del ‘sentido común’ y las esenciales de la metodología científica (Gil y Carrascosa 1985; Hashweh 1986). A modo de síntesis se exponen en el siguiente cuadro:

Así pues, teniendo en cuenta no sólo que el aprendizaje es asociativo sino que, además, el pensamiento espontáneo docente imperante en el profesorado de Química en relación a la naturaleza del trabajo científico es muy próximo al formato empirista-inductivista del método científico de hace más de tres siglos (Gil 1991; Furió 1992), puede derivarse la siguiente consecuencia:

C.2 ‘Los razonamientos manifestados por los estudiantes al explicar los

Características de la epistemología de 'sentido común'	Características de la metodología científica
<ul style="list-style-type: none"> -Aceptación acrítica del conocimiento declarativo asumido por todos como veraz. -Prioriza el conocimiento procedimental y explicativo de tipo empirista-inductivista (generalización a partir de ejemplos concretos). -Prima el uso de razonamientos cualitativos para sacar conclusiones generales. -Se favorece el pensamiento convergente al validar el conocimiento declarativo (búsqueda puntual de coherencia). -Se conforma con un conocimiento procedimental poco riguroso (una única estrategia) -Utiliza fundamentalmente razonamientos de tipo causal lineal y simple. 	<ul style="list-style-type: none"> -Aceptación de la naturaleza hipotética del conocimiento declarativo (se pone en duda lo obvio). -Prima los conocimientos procedimental y explicativo de tipo hipotético- deductivo (se parte del cuerpo teórico vigente). -No sólo emplea aproximaciones cualitativas sino que además trata de objetivarlas mediante observaciones cuantitativas. -Se vale del pensamiento convergente pero prima el divergente para falsar el conocimiento declarativo (búsqueda global de coherencia). -Para ello idea conocimiento procedimental riguroso (diversas estrategias). -Usa razonamientos pluricausales más complejos.

cambios producidos cuando varían las condiciones de un equilibrio químico se caracterizarán por ser metodológicamente pobres ya que usarán casi en exclusiva la generalización de Le Chatelier cuando el estímulo les resulte familiar. Esta fijación funcional estratégica se extenderá incluso a equilibrios donde no es aplicable aquel principio'.

3. Diseños experimentales.

Se pensó en un cuestionario que tuviera tanto items de opción múltiple con el fin de extraer sus razonamientos y conclusiones como items de respuesta abierta en los que se enfatizaría también el análisis del conocimiento declarativo y procedimental (en el anexo puede verse un ejemplo de cada tipo de item).

Ahora bien, como en la consecuencia C.1 se trataba de establecer una correlación entre el éxito en las respuestas declarativas y la familiaridad de la pregunta se tenía que graduar esta última variable sabiendo que fundamentalmente estas ideas eran de carácter inducido. Por tanto, esta graduación se puede hacer analizando el contenido de textos donde se puede ver qué ejemplos son los más frecuentemente utilizados por el profesorado. Con esta base, en la graduación de las cuestiones se utilizaron dos criterios:

a) El *tipo de equilibrio* incluido en la pregunta según la doble clasificación de estos procesos que normalmente se maneja en los libros de texto (físico-químico y homogéneo-heterogéneo). En este sentido la familiaridad escolar de la cuestión iría decreciendo en el sentido siguiente:

a.1) equilibrios químicos homogéneos como p.e. la disociación del tetróxido de dinitrógeno, etc...

a.1') equilibrios químicos heterogéneos como p.e. la descomposición térmica del carbonato de calcio, etc... y

a.2) equilibrios físicos como p.e. la evaporación-condensación del alcohol. Es obvio que este equilibrio concreto es familiar al estudiante, pero desde el punto de vista experiencial. Ahora bien, como normalmente no se incluyen en los textos al tratar este tema, es lógico que no se reconozca como contexto en el que puedan aplicarse los razonamientos aprendidos en clase y que no sea familiar desde el punto de vista escolar.

b) La *clase de perturbación* a que somete el sistema físico o químico que, en nuestro caso, se ha graduado en la siguiente escala cualitativa también decreciente en familiaridad escolar:

b.1) la *variación -adición o sustracción- de la cantidad de sustancia (n_i)* (o de la concentración) de alguno de los reactivos o productos manteniendo constantes la temperatura y volumen del sistema;

b'.1) casi en este mismo nivel de familiaridad se puede suponer la *variación de la temperatura* del sistema manteniendo constantes la composición inicial y el volumen (o la presión) del mismo. Esta suposición se basa en el error conceptual -manejado en algunos textos- de asignar carácter de sustancia participante en el proceso a la entalpía (o calor) de la reacción con el fin de poder así aplicar fácilmente la generalización de Le Chatelier;

b.2) la *variación de la presión externa al sistema* (o cambiando el volumen total del reactor) manteniendo constantes la composición inicial y la temperatura del mismo;

b.3) la *variación del volumen total del sistema* manteniendo constantes la presión total y la temperatura como, por ejemplo, añadiendo un gas inerte que no reacciona ni con los reaccionantes ni con los productos. Este tipo de perturbación apenas se emplea por el profesorado de estos niveles y sólo aparece en unos pocos textos de nivel universitario (Karapètiantz 1978).

Así pues, combinando estos dos criterios se obtiene una escala cualitativa que gradúa en tres niveles la familiaridad del estímulo según se indica a continuación:

El ítem número 2 (donde se añade CaCO_3 a una descomposición térmica de esta sustancia en equilibrio) es un ejemplo típico donde la pregunta es familiar y se ha diseñado especialmente para mostrar la fijación funcional (ya que al no haber cambio real en las condiciones que definen este equilibrio no será aplicable el Principio de Le Chatelier, pero ello no será advertido por los estudiantes). Análogamente debe ocurrir en el ítem 6 (donde se añade argón, a P y T constantes, en una disociación de pentacloruro de fósforo en equilibrio) pues aparentemente parece que no varían las condiciones y no se verá la necesidad de aplicar la generalización de Le Chatelier. Un análisis semejante se ha supuesto que se hará en el caso del ítem 5 ya que, como se ha indicado antes, la evaporación-condensación del alcohol no se contextualiza

Criterios	Equilibrio	Perturbac.	No. ítem	Familiari.
a.1 x b.1	$N_2O_4=2NO_2$	$n_{NO_2} \uparrow$	1	-Muy alta
a'.1 x b.1	desc. $CaCO_3$	$n_{CaCO_3} \uparrow$	2	-Muy alta
a.1 x b'.1	sínt. amon.	$T \uparrow$	3	-Alta
a.1 x b.2	$N_2O_4=2NO_2$	$P \uparrow$	4	-Regular
a.2 x b'.1	evapor. alc	$T \uparrow$	5	-Regular
a.1 x b.3	diso. PCl_5	$n_A \uparrow$	6	-Muy baja

por los estudiantes como fenómeno donde hay equilibrio y, consecuentemente, no se aplicará aquel principio.

En cuanto al análisis del contenido relativo al conocimiento procedimental y explicativo empleado por los estudiantes en las respuestas a estos ítems -necesario para falsar la consecuencia contrastable C.2- se centrará, por una parte, en evaluar cuantitativamente la diversidad explicativa de los argumentos y, por otra, la calidad de dichos razonamientos causales. En este sentido se categorizan los razonamientos viendo si se trata de meras descripciones que replican los hechos mencionados en las preguntas o de argumentos causales y dentro de estas últimas se toman como referencia las que se pueden encontrar en la bibliografía (Sienko y Plane 1965; Maskill y Cachapuz 1989). Así pues, las categorías de razonamientos se clasifican en:

- 1) Explicación basada en la generalización de Le Chatelier.
- 2) Razonamiento fundamentado en la definición operativa de la constante de equilibrio y en su variación con la temperatura.

- 3) Argumento fundado en el carácter dinámico del equilibrio químico (y, por tanto, explican los cambios que deben ocurrir en las velocidades de los dos procesos inicialmente equilibrados).
- 4) Explicaciones descriptivas o fácticas que corresponden a evidencias empíricas o replican el enunciado de las preguntas.
- 5) Incodificables y sin explicación escrita.

En resumen, el cuestionario así diseñado se ha aplicado a dos muestras de alumnos que habían estudiado el tema del equilibrio químico. Uno de estos grupos estaba formado por 30 estudiantes de Química de COU de un instituto de la ciudad de Valencia y el otro por 15 alumnos de tercero de Magisterio de la especialidad de Ciencias también de la misma ciudad.

4. Presentación y análisis de los resultados.

Como se trata de contrastar, por una parte, que el conocimiento declarativo adquirido depende de la familiaridad escolar de la pregunta (consecuencia C_1)

y, por otra, que los razonamientos que acompañan a estas respuestas correctas se pueden catalogar como conocimiento procedimental poco científico (C_2), se hará la presentación y análisis de los resultados por separado.

Respecto al primer aspecto, los porcentajes de respuestas declarativas correctas a cada ítem obtenidos por separado en las dos muestras iniciales de estudiantes de Química de COU y de 3º de Magisterio apenas tuvieron diferencias significativas y por ello se presentan como una única muestra de 45 estudiantes en la tabla adjunta I.

En ella se puede apreciar claramente que el éxito en las respuestas viene directamente correlacionado con la familiaridad de la pregunta hecha en los ítems 1, 3, 4, 5 y 6 del cuestionario. La aparente anomalía que presenta el bajo porcentaje de respuestas correctas en el ítem 2 (13%) -donde se añadía un poco de CaCO_3 al equilibrio heterogéneo correspondiente- no es tal ya que, como se previó en el diseño, se debe a una aplicación mecánica e inadecuada del Principio de Le Chatelier. Esta *fija-*

ción funcional es la que impide el pensamiento creativo (análisis previo de esta situación particular) y justifica que el porcentaje de respuestas incorrectas a este ítem 2 (el 87%) coincida con el de éxitos del ítem 1 donde la aplicación del principio era pertinente.

La influencia del tipo de equilibrio en la familiaridad de la cuestión se ve claramente al comparar los resultados de los ítems 3 (elevación de la temperatura en la síntesis del amoníaco) y 5 (idem en la evaporación del alcohol) puesto que se pasa del 73% de aciertos en el primer caso frente al 49% en el segundo. La explicación de esta diferencia significativa se atribuye, como también se apuntó en el diseño, a que este equilibrio físico no es reconocido por el estudiante como contexto en el que se deba aplicar el Principio memorizado. El que la pregunta sea acertada por la mitad de los estudiantes se debe más a su experiencia curricular en otros contextos (extraescolar y/o escolar) que a la enseñanza habitual del equilibrio químico, como se podrá constatar más adelante al analizar las explicaciones dadas a este ítem. Cabe

No. ítem	Equilibrio	Perturbac.	Familiari.	resp. cor %
1	$\text{N}_2\text{O}_4=2\text{NO}_2$	$n_{\text{NO}_2} \uparrow$	-Muy alta	87
2	desc. CaCO_3	$n_{\text{CaCO}_3} \uparrow$	-Muy alta	13
3	sínt. amon.	$T \uparrow$	-Alta	73
4	$\text{N}_2\text{O}_4=2\text{NO}_2$	$P \uparrow$	-Regular	62
5	evapor. alc	$T \uparrow$	-Regular	49
6	diso. PCl_5	$n_A \uparrow$	-Muy baja	18

Tabla I.- Porcentaje de respuestas correctas en función de la familiaridad de la pregunta formulada (N = 45).

destacar que casi una cuarta parte de los encuestados (el 22%) manifiestan no saber qué sucede factualmente cuando se eleva la temperatura de la mezcla alcohol-vapor y se llega al nuevo estado de equilibrio.

La disminución de éxito en las respuestas al ítem 4 (62%) respecto del 1 (87%), donde se aumentaba la presión total en el equilibrio de disociación del

N_2O_4 , se puede justificar porque la solución a este ítem 4 requiere una mayor demanda de memoria asociativa de largo término según la teoría del procesamiento de la información (Johnstone y El-Banna 1986). En efecto, mientras la aplicación del Principio de Le Chatelier en el ítem 1 requiere una regla inferencial con una única etapa procesual, según



Estímulo	Regla inferencial	Respuesta
$n_{N_2O_4} \uparrow$	-Se absorbe por el sistema.	-Evoluciona hacia la derecha.

en el segundo caso se tiene que incluir una segunda etapa en el argumento (la relación inversa entre presión y volumen) según

Estímulo	Regla inferencial	Respuesta
$P_{ext} \uparrow$	-Se absorbe por el sistema, ¿cómo? -Disminuyendo el volumen del mismo.	-Evoluciona hacia la izquierda.

En este sentido se puede extrapolar que menos porcentaje de resultados correctos se obtendrá cuando la perturbación sea una variación del volumen total del sistema en equilibrio. En efecto, la aplicación del Principio de Le Chatelier en este caso ya no es tan sencilla, de ahí que la mayoría de textos no incluyan este tipo de cambio y cuando lo hacen tratan de disminuir la complejidad reduciendo dicho caso al expuesto anteriormente de una variación de presión, con lo cual se aumenta

el argumento en una nueva etapa procesual. Así se encontró que el 46 % de dos grupos de 30 alumnos de Química de COU respondían correctamente a una cuestión planteada anteriormente en otro trabajo donde se preguntaba que sucedería si se aumentase el volumen en un equilibrio de disociación de PCl_5 (Escobedo 1989).

Finalmente el ítem 6, donde se tiene que explicar como evoluciona un equilibrio de disociación de PCl_5 cuando se

adiciona argón sin variar la presión y temperatura del sistema, resulta ser el menos familiar y, consecuentemente, tiene el nivel más bajo de aciertos (18%). Y si bien esta modificación del equilibrio es equivalente a un aumento del volumen total del sistema (si P y T son constantes), era de esperar este bajo rendimiento porque debía hacerse previamente un análisis de la situación relativamente complejo al que, en general, no se acostumbra en un aprendizaje asociativo. Como es lógico el distractor mayoritariamente elegido en este ítem (más del 60%) ha sido el que indicaba que no pasaba nada en el sistema.

En definitiva, en este tema de aplicación cualitativa del concepto del equilibrio químico a situaciones en las que se cambian las condiciones del mismo queda confirmado que el modelo conductista explica la eficacia en la adquisición de conocimiento declarativo de los estudiantes considerando como factor esencial el estímulo propuesto. Pasemos a presentar y analizar los resultados encontrados respecto del conocimiento procedimental y explicativo que acompaña al declarativo en las respuestas de estos estudiantes.

Así pues, con el fin de falsar la hipótesis C.2 se ha procedido al análisis cualitativo y cuantitativo de las explicaciones. En primer lugar, hay que resaltar que ninguno de los 45 estudiantes encuestados -independientemente de que su contestación fuera correcta o incorrecta- ha tratado de validar su respuesta mediante el uso, al menos, de dos explicaciones diferentes como se hace habitualmente en el análisis científico de resultados.

Por otra parte, se han seleccionado aquellas explicaciones de los estudiantes que habían contestado correctamente a los ítems con el fin de proceder a su análisis metodológico. En la tabla II se presentan los porcentajes encontrados de cada tipo de razonamiento en las respuestas correctas en función del número de ítem. No se han incluido los porcentajes relativos a contestaciones con explicaciones incodificables y sin explicación.

El análisis simple de estos resultados confirma el uso casi exclusivo de la generalización de Le Chatelier en las respuestas correctas a los ítems 1, 3, 4 y 6 para explicar la evolución de estos equilibrios cuando se cambian sus condiciones. A título de ejemplo se expone una explicación prototípica dada al elevar la temperatura en el equilibrio de la síntesis del amoníaco (ítem3):

“Si la reacción es exotérmica y aumentamos la T, para compensar este exceso se favorecerá el sentido inverso de la reacción, pues para la descomposición se necesita más energía que para la formación del amoníaco”

También se ha indicado anteriormente que esta fijación funcional estratégica es la causante de que casi todos los estudiantes (87%) se equivocaran en el ítem 2. Ejemplo ilustrativo de una de estas explicaciones con cierto rasgo animista es la siguiente:

“El sistema evoluciona hacia la derecha para la formación de CaO y CO_2 . Al ser un sistema cerrado, el aumentar la cantidad de un elemento se está variando directamente su concentración en el sistema, por lo cual según Le

No. item	resp. cor %	% explic. tipo 1 (Le Ch.)	% explic. tipo 2 (Kc)	% explic. tipo 3 (cinèt.)	% explic. tipo 4 (descr.)
1	87	87	—	—	—
2	13	—	50	—	17
3	73	73	4	—	—
4	62	85	—	—	—
5	49	—	15	13	45
6	18	100	—	—	—

Tabla II.- Porcentajes de las explicaciones encontradas en las respuestas correctas en función del item (N= 45).

Chatelier cuando un agente externo altera el sistema, éste responde para aplacar la variación de ese agente externo, por lo que el sistema tenderá a aumentar el CaO y CO_2 .

La ausencia de esta fijación funcional en los items 2 y 5 era ciertamente esperada debido al tipo de pregunta formulada. Así, por ejemplo, la casi inexistencia de ejemplos de equilibrios físicos en la enseñanza habitual del equilibrio químico en estos niveles justifica que estén ausentes allí razonamientos basados en el Principio de Le Chatelier y que, coherentemente, haya una diversidad explicativa entre los estudiantes. Así la mayoría de los estudiantes (45%) que contestan correctamente al item 5 dan explicaciones de tipo empírico o descriptivo como el que sigue:

“Al aumentar la temperatura los líquidos se evaporan”

Unos pocos (4 de 22) hacen referencia a la constante de equilibrio como p.e.:

“Al aumentar la T la constante de equilibrio varia, por lo tanto los productos deben cambiar para que se vuelva a restablecer el equilibrio”

y otros 3 de aquellos 22 se inclinan por explicaciones de tipo cinético en las que no falta algún error conceptual (confusión entre rapidez y extensión del proceso) como la que sigue:

“Al cerrar el recipiente el alcohol empieza a evaporarse, pero más tarde, sus moléculas pasan de nuevo al estado líquido, es decir, se condensan. Cuando la velocidad de evaporación y de condensación se igualan, se alcanza el equilibrio.

Si se aumenta la temperatura, el alcohol se evaporará más rápidamente, pero al cabo de un tiempo se alcanzará de nuevo el equilibrio (el alcohol se evaporará con mayor velocidad)”.

En el caso de las explicaciones correctas al item 2 la mitad (3 de 6) de los estudiantes se inclinan por razonamientos referentes al significado de la constante de equilibrio como, por ejemplo,

“Al aumentar la cantidad de CaCO_3 no afecta para nada al equilibrio ya que es un sólido. Este sistema es un equilibrio heterogéneo donde $K_c=(\text{CO}_2)$ ”.

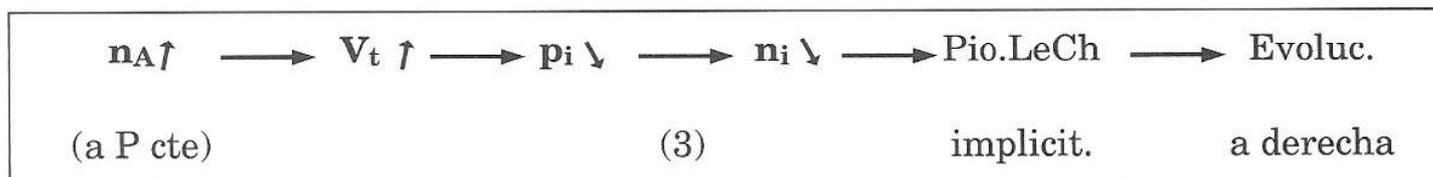
y es obvia la improcedencia de la aplicación del Principio de Le Chatelier dado que la aparente perturbación producida al sistema no supone, en realidad, ningún cambio en las condiciones de este equilibrio.

Finalmente, se ha observado en contestaciones correctas el uso de un *razonamiento lineal* causal caracterizado por una cadena secuencial donde el argumento consiste en una cadena secuencial de relaciones causales simples entre dos variables cuando, en realidad, pueden intervenir más de dos. Como se indicó en el apartado 2 una característica típica de la epistemología de “sentido común” es el

empleo de este tipo de razonamientos de tipo causal simple cuando se trata de analizar una relación compleja entre dos variables. La solución dada a este análisis funcional consiste en reducir su complejidad omitiendo mentalmente aquellas otras que también intervienen (Rozier y Viennot 1990). Ejemplos prototípicos de este *reduccionismo funcional* los encontramos en las respuestas correctas al ítem 6 como la siguiente:

“Al añadir un gas inerte, manteniendo constante la presión, el volumen no continuaría constante, sino que aumentaría, con lo que disminuye la presión parcial y, a su vez, los moles de cada gas, con lo que se favorece el sentido directo (donde Δn es +)”.

razonamiento que puede analizarse mediante la siguiente secuencia:



En la implicación 3ª el estudiante no advierte que sólo se cumplirá si en el sistema se mantiene constante el volumen total (la temperatura ya se presupone) del sistema. Una manifestación más explícita de este modo de razonar que ha impedido precisamente el análisis de la situación del ítem 6 la encontramos en una de las respuestas incorrectas que literalmente enfatizaba:

“¡No entiendo como en un mismo recipiente metiendo otro gas no aumenta la presión total!”

donde mentalmente se está haciendo

corresponder el aumento de la cantidad de sustancia con el de presión prescindiendo de la posible influencia de otras variables como la temperatura o el volumen.

En resumen, ha quedado demostrado que el aprendizaje asociativo adquirido por los estudiantes en este concepto se apoya en un conocimiento procedimental poco riguroso donde se repite casi en exclusiva la generalización de Le Chatelier, dejando de lado la falsación del conocimiento declarativo por otras vías como p.e. a través del significado

operativo de la constante de equilibrio o del carácter dinámico del equilibrio (evolución de los procesos cinéticos). Esta fijación funcional metodológica va contra el pensamiento divergente que prima la metodología científica y, en definitiva, no favorece la comprensión del equilibrio químico ya que limita drásticamente la creatividad del estudiante y su pensamiento productivo frente al reproductivo no sólo en la aplicación de conceptos sino también en otros aspectos como la resolución de problemas (Frederiksen 1984).

4. Conclusiones.

Este trabajo se ha centrado en el análisis del conocimiento declarativo terminal (producto) y de los razonamientos (procesos) usados por estudiantes de Química de COU y de Magisterio cuando se les cuestiona sobre diversas situaciones de desplazamiento del equilibrio químico. Los resultados encontrados validan la hipótesis de que el conocimiento declarativo adquirido por los estudiantes viene gobernado por la familiaridad de la pregunta. Coherentemente con este tipo de aprendizaje repetitivo, los razonamientos utilizados en las respuestas correctas a la hora de explicar la evolución de los sistemas perturbados se caracterizan por el uso casi exclusivo de la generalización de Le Chatelier y ausencia total de otras estrategias argumentales. Estos resultados evidencian que la enseñanza habitual del equilibrio no sólo no favorece el pensamiento divergente propio de la metodología científica sino que, además, produce en

los estudiantes la *fijación funcional* de una estrategia cuyo recuerdo es sencillo pero que no tiene significación química para ellos. Al propio tiempo, se comprueba tanto en las explicaciones de respuestas correctas como incorrectas la existencia de razonamientos semejantes a los catalogados como reduccionismos funcionales en estudiantes universitarios al encuestarles sobre equilibrios termodinámicos. El refuerzo de este tipo de hábitos y comportamientos se logra gracias a la supervaloración que hace el profesorado de la adquisición de conocimiento declarativo terminal sin tener en cuenta la necesidad del cambio metodológico ni la calidad de los razonamientos en la enseñanza de la Química.

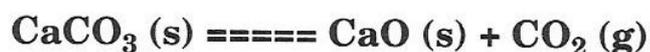
Referencias bibliográficas.

- ALLSOP R.T. y GEORGE N.H., 1984, Le Chatelier -a redundant principle, *Education in Chemistry*, 21, 54-56.
- AUSUBEL P.D., 1982, *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo* (Ed. Trillas: México).
- BANERJEE A.C. y POWER C., 1991, The development of modules for the teaching of chemical equilibrium, *Int. J. Sci. Educ.*, 13(3), 355-362.
- BRIDGART G. y KEMP H., 1985, A limitation on the use Le Chatelier's principle, *Australian Science Teachers' Journal*, 31, 60-62.
- CHASTRETTE M., 1992, Nouvelles tendances dans la Didactique de la Chimie et rôle du Comité pour l'enseignement de la Chimie de l'IUPAC, *Enseñanza de las Ciencias*, 10(1), 17-24.

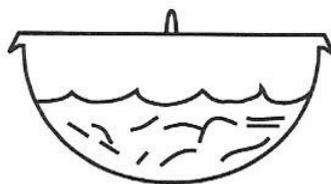
- ESCOBEDO M., 1989, *El aprendizaje no significativo del equilibrio químico* (Tesis de Master no publicada: Universitat de València).
- FREDERIKSEN N., 1984, Implications of cognitive theory for instruction in problem solving, *Review of Educational Research*, 54(3), 363-407.
- FURIÓ C., 1992, ¿Por qué es importante la teoría para la práctica de la educación científica? *Aula de innovación educativa*, 4-5, 5-10.
- FURIÓ C. y ORTIZ E., 1983, Persistencia de errores conceptuales en el equilibrio químico, *Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), 15-20.
- GIL D., 1983, Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las Ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), 26-33.
- GIL D., 1991, ¿Qué hemos de saber y saber los profesores de Ciencias?, *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 69-77.
- GIL D., CARRASCOSA J., FURIÓ C. y MARTÍNEZ - TORREGROSA J., 1991, *La Enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria* (ICE de la Universitat de Barcelona-HORSORI: Barcelona).
- GOLD J. y GOLD V., 1985, Le Chate-lier's principle and the laws of van't Hoff, *Education in Chemistry*, 22, 80-82.
- HACKLING M.W. y GARNETT P.J., 1986, Chemical equilibrium: learning difficulties and teaching strategies, *Australian Science Teachers' Journal*, 31, 8-13.
- JOHNSTONE A.H. y EL-BANNA H., 1986, Capacities, demands and processes -a predictive model for science education, *Education in Chemistry*, 23, 80-84.
- KARAPÉTIANTZ M., 1978, *Initiation a la théorie des phénomènes chimiques* (Editions Mir: Moscou).
- MASKILL R. y CACHAPUZ A.F.C., 1989, Learning about the chemistry topic of equilibrium the use of word association tests to detect developing conceptualizations, *International Journal of Science Education*, 11(1), 57-69.
- OTERO J., 1989, La producción y la comprensión de la Ciencia: la elaboración en el aprendizaje de la Ciencia escolar, *Enseñanza de las Ciencias*, 7(3), 223-228.
- POZO J.I., GOMEZ M.A., LIMON M. y SANZ A., 1991, *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: las ideas de los adolescentes sobre la Química* (C.I.D.E.: Madrid).
- SIENKO M.J. y PLANE R.A., 1965, *Química* (Ed. Aguilar: Madrid).
- SKINNER B.F., 1971, *L'analyse expérimentale du comportement* (Ed. Dessart et Mardaga: Bruxelles).
- ROZIER S. y VIENNOT L., 1990, Students' reasoning in thermodynamics, *Tijdschrift voor Didactiek der wetenschappen* 8(1), 3-18.
- WELLINGTON J., 1989, *Skills and processes in science education* (Routledge: Londres).

ANEXO

Item 2.- Dentro del recipiente *cerrado* de la figura tenemos en equilibrio carbonato cálcico sólido, óxido de calcio sólido y dióxido de carbono gaseoso, según el esquema de racción:



Si se añade más carbonato cálcico, manteniendo constante la temperatura, explica con detalle cómo evoluciona el sistema.



Item 6.- Tenemos en un recipiente una mezcla en equilibrio de pentacloruro de fósforo, cloro y tricloruro de fósforo, según el esquema de reacción:



Predecir el efecto que producirá introducir en el recipiente una cierta cantidad de argón (gas inerte que no reacciona con ninguna de esas sustancias) suponiendo que se mantienen constantes la presión total del contenido del recipiente y la temperatura:

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

Explica con detalle cómo evoluciona el sistema.