

Propuesta para la enseñanza del equilibrio químico*

Adriana Rocha y Norberto Scandrolí,¹

José Manuel Domínguez Castiñeiras y Eugenio García-Rodeja²

Introducción

Los trabajos de investigación sobre enseñanza y aprendizaje del Equilibrio Químico (Jonhstone, 1977; Gorodetsky, 1986; Quílez Pardo, 1995) ponen de manifiesto que dicho tema es uno de los que presentan más dificultades desde el punto de vista didáctico y coinciden muy bien en cuáles son los puntos de mayor conflicto, como en las concepciones alternativas. Entre las dificultades analizadas se destacan tanto las que tienen que ver con las ideas previas sobre conceptos relacionados con el de Equilibrio Químico, como las derivadas de las formas de representación de los sistemas:

- Confusión entre extensión y velocidad de la reacción.
- Representación de las reacciones químicas mediante ecuaciones químicas (Anderson, 1986; Nakhleh, 1992).
- Concepción del sistema en equilibrio como dos compartimentos separados, quizás a causa de la influencia de la ecuación química.
- Aplicación inadecuada del Principio de Le Chatelier.

Se plantea aquí una forma de posibilitar que el alumno construya una noción de sistema en equilibrio dinámico a partir del análisis de un hecho significativo (Domínguez *et al.*, 1995) y luego la aplique al estudio de sistemas más complejos como una alternativa que ayude a progresar en el conoci-

miento del Equilibrio Químico. Se trabaja con alumnos de un curso básico de Ciencias de nivel universitario y se analizan las principales diferencias de significado sobre dicho concepto entre los alumnos que participan de la propuesta de Actividad Abierta (García Rodeja *et al.*, 1987), y los que concurren a una clase donde se desarrolla el tema en la forma habitual.³

Los alumnos que ingresan a nuestra Universidad no tienen, en general, preconcepciones directamente vinculadas con el Equilibrio Químico, pero sí poseen alguna idea de equilibrio estático (elaborada en el contexto de la Mecánica) e ideas sobre otros conceptos relacionados que influyen en el aprendizaje, entre los cuales puede considerarse el de reacción química como el más importante. Gorodetsky y Gussarsky (1986) afirman que la experiencia previa de reacciones que proceden hasta completarse, influye sobre la concepción alternativa de reacciones en equilibrio. Hemos podido comprobar además, que los alumnos que ingresan a la Universidad poseen dificultades para interpretar las reacciones químicas desde el punto de vista corpuscular, más aún, resulta bastante generalizada la idea alternativa según la cual “sólo hay reacción química cuando se *unen* dos sustancias distintas” (Caruso, 1998).

La literatura científica acerca de las interpretaciones alternativas detectadas en el aprendizaje del Equilibrio Químico, coincide en que su origen tiene relación con:

- La experiencia que los alumnos poseen en el trabajo con reacciones químicas “irreversibles”.
- La importancia dada (en clase y en los libros de texto) a los cálculos estequiométricos, que ponen énfasis en los coeficientes de la ecuación química (Hackling, 1985);
- La utilización de analogías para explicar el equilibrio dinámico por parte de los docentes y de los libros de texto.

* Este trabajo forma parte de las investigaciones conjuntas que realizan, en el campo de la Didáctica de las Ciencias Experimentales, docentes de la Universidad de Santiago de Compostela (España) y de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (Argentina), en el marco de un convenio de colaboración firmado entre ambas instituciones.

¹ Departamento de Profesorado en Física y Química, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Av. del Valle 5737 (7400) Olavarría, Buenos Aires, Argentina.

² Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad de Santiago de Compostela. Av. Juan XXIII s/n. Santiago de Compostela, España.

³ La forma habitual de trabajo del grupo de alumnos elegido se describe con algún detalle más adelante.

Consideramos necesario replantear la forma en que se inicia al alumno en el estudio del Equilibrio Químico. Nos parece adecuado presentar, teniendo en cuenta las dificultades antes mencionadas, una alternativa que, partiendo del hecho significativo, la evaporación del agua



facilite al alumno la construcción de un concepto claro y bien definido de Sistema en Equilibrio que luego pueda aplicar a otros sistemas.

Si aceptamos que el proceso de construcción de conocimiento resulta adecuado sólo si el aprendizaje es significativo (Ausubel, 1978) —lo que queremos potenciar frente al aprendizaje memorístico—, es necesario propiciar, además de una adecuada secuenciación didáctica, todas las condiciones para que aquél ocurra. Una de esas condiciones es la predisposición del alumno para aprender significativamente, lo cual significa que sea capaz de relacionar conscientemente el nuevo conocimiento con alguna parte de su estructura cognitiva e incorporarlo a ésta, mediante sucesivas diferenciaciones de los subsumidores y reconciliaciones integradoras de los elementos de dicha estructura. Una estrategia de enseñanza en este sentido motivará al alumno a que, consciente de lo que sabe, cuestione continuamente su propio conocimiento.

Cabría aclarar aquí cuál sería la noción de Equilibrio Químico adecuada, que debería construir un alumno (desde el punto de vista cualitativo): *el estado de equilibrio dinámico es alcanzado por un sistema químico cerrado, desde cualquier punto de inicio, cuando dos procesos inversos ocurren simultánea y continuamente a la misma velocidad, por lo cual la composición del sistema permanece constante* (Atkins, 1998).

Fundamentos del diseño de la actividad abierta "Equilibrio Químico"

El conocimiento es una construcción idiosincrásica que ocurre por reestructuración de ideas preexistentes y que, aun así, tiene la posibilidad de ser socialmente compartido (Novak, 1992). Por esto ha sido posible analizar, a partir de lo que plantean como dificultades asociadas al estudio del Equilibrio Químico, algunos de los trabajos de investigación anteriores, y extraer a partir de ellas, algunas precisiones que permitieron el desarrollo de la Actividad Abierta (Domínguez, 1995).

El enfoque que se propone aquí consiste en utilizar un sistema sencillo de un solo componente,

que involucra un hecho conocido y significativo para el alumno, la evaporación del agua, que es interpretado utilizando el modelo cinéticomolecular, apuntando a que el alumno elabore una noción de sistema en equilibrio dinámico que pueda aplicar luego a otras situaciones más complejas, tanto en sus aspectos macroscópicos como microscópicos. En resumen, se propone el análisis del comportamiento macroscópico de sistemas en equilibrio dinámico y su interpretación aplicando el modelo cinéticomolecular aprovechando en toda su potencialidad el sistema de evaporación del agua. Un desarrollo posterior de la propuesta didáctica nos permitiría poner de manifiesto los aspectos termodinámicos que permitan explicar todo lo que resulte asequible a partir del modelo inicial (Johnstone, 1977b).

La metodología didáctica aquí propuesta —Metodología Actividades Abiertas (AcAb) (García-Rodeja, 1987)—, sigue una estrategia didáctica que parte de una realidad significativa para el alumno y es él mismo quien va elaborando sus interpretaciones y aceptando los modelos para llegar a aplicarlos a situaciones diversas. Se pretende trabajar poniendo énfasis en la reconciliación integradora de ideas preexistentes. Por ejemplo, cuando se observa un sistema cerrado conteniendo agua en estado líquido *en equilibrio* con el vapor, podría pensarse que el proceso de evaporación se detuvo en un momento determinado. Pero si se provoca la reflexión acerca del aspecto energético de las partículas de ese sistema, puede lograrse una interpretación más adecuada de la observación.

Metodología de trabajo

Muestra

Se trabajó con alumnos ingresantes a la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (Argentina). Los alumnos de la muestra no habían tenido, hasta ese momento, instrucción en el tema. La muestra se dividió en dos grupos. Uno de ellos, grupo I, participó de una clase de introducción al tema en la que se utilizó el diseño didáctico que se describe en el apartado siguiente, y el otro, grupo II, de una clase habitual introductoria al estudio del Equilibrio Químico.

Intervención en el aula

El **grupo I** participó de la realización de la primera parte de la Actividad Abierta "Equilibrio Químico".

El **grupo II** participó de una clase de introduc-

ción al tema basada en la lectura y análisis de un texto de Introducción a la Química en el nivel universitario (Routh, 1980), que es la forma en que la cátedra trabaja habitualmente el tema.

Descripción de la clase realizada con la Actividad Abierta “Equilibrio Químico”

Esta clase tuvo lugar en una sesión de dos horas, durante las cuales se trabajó en forma grupal, con intervenciones del profesor de aproximadamente 10 minutos cada una, que permitieron la introducción al material de aprendizaje y su secuenciación. A continuación los alumnos discutieron en pequeños grupos cada parte de la actividad e intentaron llegar a un acuerdo acerca del significado que fue adquiriendo para cada uno el concepto en cuestión, así como también acerca de las dificultades que fueron apareciendo. El docente explicó a los alumnos que la actividad estaba propuesta para pensar acerca de los sistemas allí planteados, en relación con su composición y los cambios que en ellos ocurren, tratando de interpretarlos desde el punto de vista microscópico.

La actividad se presentó a los alumnos, acompañada de un impreso, una *hoja del alumno* (figura 1), en la que aparecen en la primera columna, muy esquemáticamente, los sistemas sobre los que se propone al alumno la reflexión. A medida que se desarrolla la actividad, cada alumno vuelca sus observaciones e interpretaciones en la segunda columna y las contribuciones que realiza el docente o las conclusiones a las que se llega después de una puesta en común, en la tercera. Ésta es además, una forma de recuperar información acerca de lo que cada uno va elaborando en cada momento de la clase.

A continuación se muestran esquemáticamente las ideas que se van trabajando en la actividad y su secuencia, además de indicar paralelamente cuáles son los aspectos fundamentales de la noción de equilibrio que van surgiendo en cada momento. Estos aspectos son los que se aplican posteriormente cuando se estudia el comportamiento del sistema de reacción química propuesto más adelante en la actividad. Cabe destacar que aquí sólo se plantea el trabajo correspondiente a la primera sesión de desarrollo del tema Equilibrio Químico, pero obviamente es necesario seguir ampliando el espectro de situaciones en las que el alumno aplique lo aprendido para que realmente logre un aprendizaje que le permita enfrentar las dificultades propias de trabajo con sistemas químicos en equilibrio.

Aún a esta altura de la instrucción no se ha

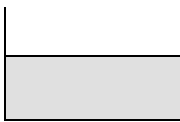
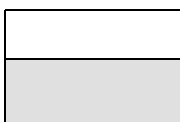
ACTIVIDAD	ALUMNO	PROFESOR
 <p>Agua en un recipiente abierto</p>		
 <p>Agua en un recipiente cerrado</p>		
Descomposición del CaCO ₃ en un horno de cal		
Descomposición del CaCO ₃ en un sistema cerrado		


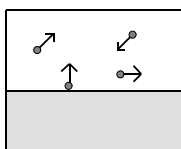
Figura 1. Ac Ab Equilibrio Químico (hoja del alumno).

introducido la constante de equilibrio como relación de las concentraciones. Esto se trabaja en la sesión siguiente, a partir del análisis del comportamiento del sistema NO₂/N₂O₄.

Recogida de información

Los alumnos de ambos grupos respondieron inmediatamente después de cada clase a tres cuestiones de una prueba de lápiz y papel. Dicha prueba tuvo como objetivo detectar las principales características en las concepciones “iniciales” construidas por los alumnos en relación a la noción de equilibrio dinámico en función de la instrucción recibida.

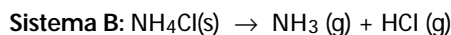
Cuestión 1. En ella se proponen las representaciones de dos sistemas químicos y se pretende que el alumno los describa, los diferencie y proponga una forma de convertir uno en el otro. Se busca el significado que tienen para el alumno una y otra representación.

AcAb EQUILIBRIO QUÍMICO Primera sesión		
Características del equilibrio dinámico	Actividad	Ideas que se trabajan
	 Agua en un recipiente abierto	<ul style="list-style-type: none"> • evaporación (modelo molecular) • energía de las moléculas • velocidad de evaporación = $f(T)$ • $\Delta H_{\text{vap}} > 0$ • $\text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{O} (\text{g})$
Sistema cerrado T constante Equilibrio dinámico Simultaneidad $v_{\rightarrow} = v_{\leftarrow}$ Composición constante $K_p = f(T)$ $K_p = f(p_v)$ $\text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} (\text{g})$	 Agua en un recipiente cerrado	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema cerrado • evaporación y condensación simultáneas a igual velocidad (modelo molecular) • $p_v = f(T)$ • $p_v \neq f(\text{masa agua})$ • Coexistencia de las dos fases en el recipiente. • Interpretación de la información dada por la ecuación; en este caso: $\text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} (\text{g})$
Aplicación de las características del Equilibrio desarrolladas hasta aquí, a un sistema en que ocurre una reacción química. ⁴	Descomposición del carbonato de calcio en un horno de cal $\text{CaCO}_3 (\text{s}) \rightarrow \text{CO}_2 (\text{g}) + \text{CaO} (\text{s})$	<ul style="list-style-type: none"> • Descripción del sistema; $\Delta H > 0$ • Interpretación microscópica de la reacción en el sistema abierto y en el sistema cerrado. • Coexistencia de todas las especies en el mismo recipiente. • $K_p = p_{\text{CO}_2}$ • El valor de p_{CO_2} no depende de la masa de CaCO_3 presente en el sistema.
	Descomposición del carbonato de calcio en un sistema cerrado $\text{CaCO}_3 (\text{s}) \rightleftharpoons \text{CO}_2 (\text{g}) + \text{CaO} (\text{s})$	

⁴ La interpretación microscópica de la reacción nos parece fundamental para ayudar al alumno a entender de forma análoga el comportamiento del sistema químico $\text{CaCO}_3 (\text{s}) \rightleftharpoons \text{CO}_2 (\text{g}) + \text{CaO} (\text{s})$ y del sistema de evaporación y condensación de agua.

Cuestión 1

a) Describa las principales características y condiciones de los sistemas químicos representados a continuación:



b) Diga cuáles son a su entender las dos diferencias principales entre el sistema A y el sistema B.

c) ¿Cómo haría en el laboratorio para transformar el sistema A en el sistema B?

Se pretende que los alumnos piensen en los sistemas A y B, como sistemas químicos en el laboratorio, caractericen el sistema A haciendo referencia a que se trata de un sistema que ha alcanzado el equilibrio, esto es, de un sistema cerrado, reversible, a temperatura constante, en el que ocurren dos procesos opuestos a la misma velocidad. También se apunta a que diferencien uno de otro, básicamente por: sistema cerrado/sistema abierto, sistema reversible/sistema irreversible, dos procesos opuestos/un solo proceso.

Cuestión 2. Está planteada como para que el alumno dé una definición de lo que entiende por sistema en equilibrio dinámico, mientras que la anterior plantea el uso de la idea elaborada. Se pretende encontrar alguna relación entre aquel “conoci-

miento” que puede ser el resultado de haber adquirido sólo información y las respuestas que puedan considerarse resultantes de que se ha iniciado la construcción, de que ha habido un esfuerzo por comprender y por tanto de lograr aprendizajes significativos.

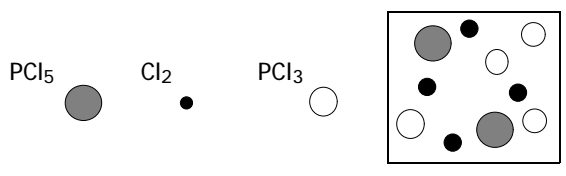
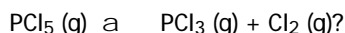
Cuestión 2

Diga con sus palabras qué entiende por sistema en equilibrio dinámico.

Cuestión 3: con ella se busca detectar una de las concepciones alternativas más comunes citadas en la bibliografía: la confusión de la relación estequiométrica mostrada por la ecuación con las cantidades presentes en el sistema en equilibrio e implica además la interpretación de la representación microscópica del sistema en equilibrio que aparece en la siguiente figura.

Cuestión 3

¿Podría ser la que se muestra en la figura, una representación de un recipiente de reacción donde:



Se pretende que los alumnos reconozcan que la figura y la ecuación pueden ser representaciones del mismo sistema ya que, en la figura, se ve que las tres especies (PCl_5 , Cl_2 , PCl_3) coexisten en el sistema en una relación de concentraciones que no puede determinarse a partir de la estequiometría de reacción.

Resultados y discusión

En las dos tablas que aparecen más adelante (tablas 1 y 2) se muestran las respuestas de cada uno de los alumnos de ambos grupos (grupos I y II) para las tres cuestiones.

Respuestas a la Cuestión 1

- puntos a.1. a a.5: características que los alumnos utilizan para describir el sistema representado por la ecuación de equilibrio.

- puntos b.1. a b.4.: características y condiciones que los alumnos utilizan para diferenciar lo representado por las dos ecuaciones dadas, una de equilibrio y la otra no.
- puntos c.1. a c.4.: respuestas dadas por los alumnos sobre cómo convertir un sistema en el otro.

Respuestas a la Cuestión 2

- puntos 2.1. a 2.8.: incluyen las características que los alumnos utilizan para definir sistema en equilibrio dinámico.

Respuestas a la Cuestión 3

- puntos 3.1. a 3.5.: incluyen las respuestas, por sí o por no, justificadas y no justificadas. Por ejemplo: *Sí (coexistencia)*: corresponde a las respuestas afirmativas que justifican que se trata del mismo sistema “porque coexisten todas las especies intervinientes”.

GRUPO I (ver tabla 1)

En la descripción del sistema representado por:



los alumnos dan varias características y condiciones de los sistemas químicos en equilibrio (reversibilidad, simultaneidad, sistema cerrado, $v_1 = v_2$, temperatura constante) y cuando se trata de comparar los sistemas representados por:



la mayor parte de las respuestas apuntan a (abierto/cerrado, irreversible/reversible). Parecería que han incorporado algunos elementos de la noción de equilibrio que no están directamente ligados a la representación por la ecuación química (simultaneidad, sistema cerrado, $v_1 = v_2$, temperatura constante), esto es, pueden leer, a partir de la ecuación, algo más que lo que inmediatamente surge, como sería por ejemplo, la idea de “reversibilidad”.

De los 21 alumnos, 16 reconocen la necesidad de cerrar el sistema A para convertirlo en el B. Sin embargo, sólo uno menciona la necesidad de mantener constante la temperatura en el caso del sistema B, a pesar de que es una de las características que aparece repetidas veces a la hora de describir el sistema.

Las “definiciones” de sistema en equilibrio dinámico, hacen mención a la reversibilidad (“reversible”

Tabla 1																						
RESPUESTAS	ALUMNOS																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	TOTAL
1- a a																						
a.1. Reversible ⁵	x		x		x	x	x	x		x			x	x	x		x				x	12
a.2. Sistema cerrado				x					x	x	x		x	x		x			x	x	x	10
a.3. Simultáneos	x	x	x										x		x				x		x	7
a.4. $v_1 = v_2$	x	x	x					x			x			x	x		x		x			9
a.5. T constante	x		x			x					x		x				x		x			7
b - DIF @ /a																						
b.1. Abierto/Cerrado			x	x		x					x			x				x	x	x	x	10
b.2. Irreversible/Reversible	x						x	x					x						x	x		6
b.3. Directa/Directa-Inversa		x			x											x						3
b.4. T/T constante	x																					1
b.5. No equilibrio/equilibrio						x		x	x					x	x		x	x			x	8
c - CONVERTIR																						
c.1. Cerrar		x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x		x	x		x		x	16
c.2. T constante						x																1
c.3. Otros			x				x										x		x	x		5
c.4. No contesta	x																					1
2 - Definición																						
2.1. Reversible		x					x	x			x	x	x		x	x	x		x			10
2.2. Simultáneos		x					x				x				x	x	x		x			7
2.3. $v_1 = v_2$		x	x	x			x					x	x	x							x	8
2.4. T constante			x		x	x																3
2.5. Sistema cerrado				x		x																2
2.6. Molécula en movimiento							x															1
2.7. No estático	x									x			x	x					x	x		6
2.8. No varía cantidad		x					x															2
3																						
3.1. Sí (coexisten)	x							x			x	x	x	x		x					x	8
3.2. Sí (otra justificación)		x	x						x				x		x		x		x	x		8
3.3. Sí (sin justificar)				x														x				2
3.4. No (justificado)					x		x															2
3.5. No contesta						x																1

⁵ Es necesario aclarar aquí por qué en las tablas 1 y 2 aparece la palabra reversible entre comillas. Se trata de respuestas dadas por los alumnos para los cuales no necesariamente la palabra reversible tiene el mismo

significado, por lo cual posteriormente, al hacer el análisis de las respuestas, reversible incluye "reversible" y simultáneo.

Tabla 2															
RESPUESTAS	ALUMNOS														T
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1- a a															
a.1. "Reversible"	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x		11
a.2. Simultáneo															–
a.3. $v_1 = v_2$															–
a.4. T constante															–
a.5. Sistema cerrado															–
b - DIF @ /a															
b.1. Abierto/Cerrado															–
b.2. Irreversible/Reversible							x	x		x			x		4
b.3. Directa/Directa-Inversa	x		x	x	x	x			x		x			x	8
b.4. T/T constante															–
b.5. No equilibrio/equilibrio										x					1
c - CONVERTIR															
c.1. Cerrar								x					x		2
c.2. T constante															–
c.3. Otros		x		x	x	x	x	x		x	x	x		x	10
c.4. No contesta															
2 - Definición															
2.1. "Reversible"	x				x	x							x	x	5
2.2. Simultáneos														x	1
2.3. $v_1 = v_2$		x	x	x		x			x	x			x	x	8
2.4. T constante															–
2.5. Sistema cerrado															–
2.6. Moléculas en movimiento															–
2.7. No estático							x								1
2.8. No varía cantidad													x	x	2
3															
3.1. Sí (coexisten)															–
3.2. Sí (otra justificación)															–
3.3. Sí (sin justificar)	x	x				x				x				x	5
3.4. No (justificado)			x	x	x				x		x				5
3.5. No contesta													x		1

y simultáneo) y a la igualdad de las velocidades, coherentemente con lo que plantean para la descripción del sistema B en la cuestión 1. No obstante, es interesante resaltar que en este ítem aparecen mucho menos frecuentemente menciones a las condiciones de temperatura constante y sistema cerrado. Sólo dos alumnos mencionan algo relacionado con la composición del sistema en equilibrio al plantear que en un sistema en equilibrio dinámico “no varían las ‘cantidades’ de reactivos y productos”. Éste es un aspecto que no aparece en las respuestas a la cuestión 1.

Puede apreciarse además que hay 12 alumnos (sombreados en la tabla 1) que parecen haber incorporado a la idea de sistema en equilibrio, tanto elementos de una visión macroscópica (sistema cerrado, coexistencia de todas las especies intervinientes), como elementos de una visión microscópica (dos procesos opuestos, simultáneos y que ocurren a igual velocidad). Entre ellos, todos responden afirmativamente la cuestión 3 y la mitad dan una justificación basada en la coexistencia de todas las especies intervinientes. Un ejemplo de este tipo de respuesta es la dada por el alumno 1: “Sí, pueden ser representaciones del mismo sistema porque el PCl_5 se descompone formando Cl_2 y PCl_3 y el choque entre moléculas de Cl_2 y PCl_3 forma el compuesto original”.

De los nueve alumnos restantes, sólo uno no responde la cuestión 3, el alumno 6, quien parece poseer una visión totalmente macroscópica de lo que es un sistema en equilibrio, ya que describe al sistema B como un sistema “reversible”, a temperatura constante, que difiere del sistema A en que es un sistema cerrado. Curiosamente es también el único alumno que incluye la temperatura constante como otra de las condiciones para transformar A en B. Sus respuestas a las dos primeras cuestiones son coherentes con una noción macroscópica de sistema en equilibrio pero falla al tratar de interpretar una representación microscópica de ese tipo de sistemas.

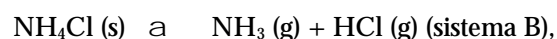
GRUPO II (ver tabla 2)

Entre los alumnos de este grupo, la respuesta más generalizada podría resumirse así: “En el sistema A ocurre una *reacción directa* y en el sistema B ocurren una *reacción directa* y una *inversa*”. Diez de los alumnos de este grupo dan una respuesta de este tipo y tres de ellos dicen además que una reacción ocurre a continuación de la otra. La otra respuesta encontrada tiene básicamente la misma fundamentación que la anterior pero aparece como: “El sistema A es *irre-*

versible y el sistema B es *reversible*”.

Se nota aquí una fuerte influencia de la ecuación química ya que las características que surgen en la cuestión 1 son las directamente relacionadas con este tipo de representación. Una de las respuestas dice textualmente: “El sistema B es reversible: el *producto* puede transformarse en *reactivo*”. Además, se hace evidente que la idea de reversibilidad para los alumnos no implica simultaneidad, cuando algunas respuestas dicen: “En B se forman los productos y *después* los productos vuelven a formar los reactivos”.

En la descripción del sistema representado por:



al igual que en la diferenciación entre los sistemas A y B, se hace referencia exclusivamente a que en el sistema B ocurren dos reacciones opuestas mientras que en el A sólo ocurre una de ellas.

Sólo un alumno propone una manera de convertir un sistema en otro: propone: “que se espere a que los reactivos y productos reaccionen, sin separarlos” y también sólo uno reconoce la necesidad de cerrar el sistema A para convertirlo en el B.

Entre las “definiciones” de Sistema en Equilibrio Dinámico predominan las que mencionan la igualdad de velocidades, además del rótulo “reversible”.

También en este caso, sólo dos alumnos hacen alguna referencia a la “composición constante” en este tipo de sistemas.

Las respuestas afirmativas a la cuestión 3 no incluyen una justificación y entre las respuestas que deciden que no puede tratarse de representaciones del mismo sistema, casi todas justifican diciendo que las “cantidades (moles) presentes en el recipiente no se corresponden con la estequiometría de reacción”. Aparece claramente aquí otra de las dificultades más comunes como es la de asociar las cantidades de cada una de las especies presentes en el equilibrio con la estequiometría mostrada por la ecuación química.

Comparación de las respuestas de los dos grupos

Si bien las respuestas apuntan a identificar las características y condiciones de ambos sistemas representados, el análisis que esquematizamos a continuación pone énfasis en lo que cada alumno interpreta a partir de la representación del sistema B. Por ello, en la figura 2 se ven, para ambos grupos, las frecuen-

cias de aparición de cada una de las características y condiciones del sistema B.

Los alumnos del grupo I basan sus interpretaciones en las condiciones del sistema en equilibrio dinámico (sistema cerrado, a temperatura constante), donde está ocurriendo una reacción química reversible. Por su parte, los alumnos del grupo II, se limitan a señalar que la representación corresponde a la de una reacción química reversible (influencia de la idea de reacción y ecuación química) sin hacer alusión a las condiciones del sistema.

Cuando se pide a los alumnos que expresen con sus palabras lo que entienden por Sistema en Equilibrio Dinámico, los resultados que se obtienen se ven en la figura 3, para ambos grupos.

Como ya se mencionó, aparece un predominio de la idea de que “ocurren dos procesos opuestos a igual velocidad”. Estas respuestas, para el grupo I tuvieron en cuenta la simultaneidad de ambos procesos, mientras que las respuestas en el grupo II no hacen mención a ello.

Conclusiones

- La mayoría de los alumnos de ambos grupos fueron capaces de expresar que *un sistema químico en equilibrio dinámico es aquel en el que las velocidades de las reacciones directa e inversa son iguales* pero las primeras diferencias aparecen a la hora de describir, por ejemplo, el sistema representado por una ecuación como: $\text{NH}_4\text{Cl (s)} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \text{ (g)} + \text{HCl (g)}$. Los alumnos del grupo I basaron sus interpretaciones de la representación anterior en las condiciones del sistema en equilibrio dinámico (sistema cerrado, a temperatura constante), donde está ocurriendo una reacción química reversible, mostrando que han iniciado la elaboración de una noción de sistema en equilibrio dinámico. Por su parte, los alumnos del grupo II se limitaron a señalar que la representación correspondía a la de una reacción química reversible (influencia de la idea de reacción y ecuación química) sin hacer alusión a las condiciones del sistema.

Podríamos sospechar que los alumnos del grupo II han aceptado por un lado el formalismo de que los sistemas en equilibrio son sistemas reversibles (íntimamente asociado a la “doble flecha” de la ecuación química) y, por otro, de forma muy superficial, que las velocidades en el equilibrio son iguales. Esta situación es advertida por otros trabajos de investigación (Johnstone, 1977a) y parecería superarse con la propuesta alternativa.

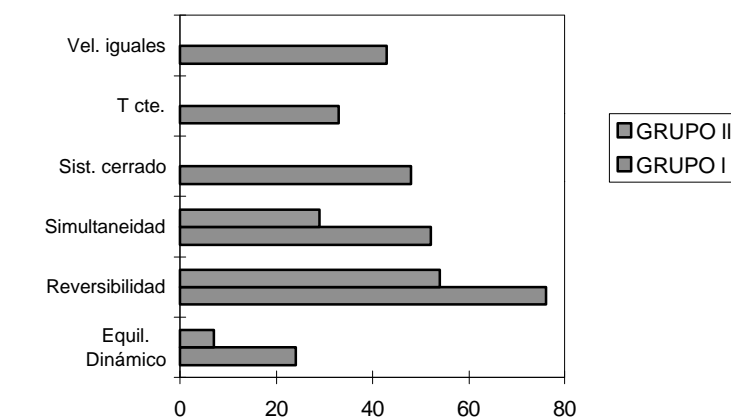


Figura 2.

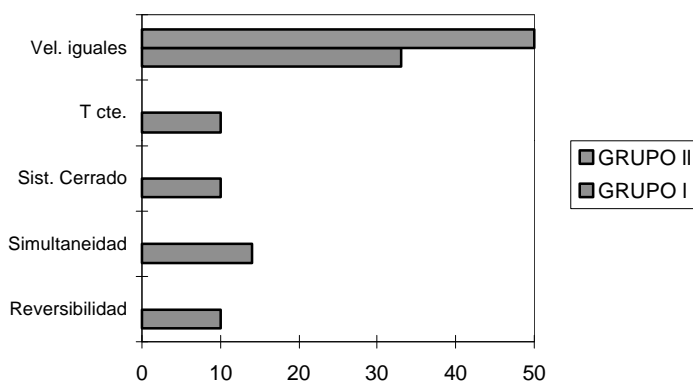


Figura 3.

- La visión microscópica de los sistemas en equilibrio que puede conseguirse con una alternativa como la planteada en este trabajo parecen ayudar a la interpretación de aspectos del equilibrio tales como su composición, permitiendo así afrontar una de las dificultades más comunes en el aprendizaje del equilibrio: la de asociar las cantidades de cada una de las especies presentes en el equilibrio con la estequiometría de reacción. De todas formas consideramos que es necesario hacer mayor hincapié, dentro de la propuesta didáctica, en la composición del sistema en equilibrio dado que éste parece ser el aspecto menos aceptado por los alumnos.

Implicaciones

Los primeros resultados parecen estar indicando que la significatividad del hecho de partida y la secuenciación didáctica de la propuesta aquí presentada

facilitaron la incorporación de los aspectos esenciales para la construcción de un conocimiento útil de sistema en equilibrio dinámico.

La aplicación de una propuesta didáctica como la aquí planteada podría contribuir a que el alumno construya una noción de sistema en equilibrio dinámico, no demasiado influenciada por la idea de reacción y/o ecuación química, que luego utilice para la interpretación de un sistema químico en equilibrio.

Es necesario prestar especial atención al trabajo con la idea que los alumnos están desarrollando, en diferentes situaciones y contextos. Su aplicación a diversos tipos de sistemas que implican tratamientos distintos ayuda necesariamente a lograr una mayor comprensión. ▣

Agradecimientos

A la SECYT de la Universidad Nacional del Centro. A la Universidad Nacional del Centro. A la Universidad de Santiago de Compostela. A la Xunta de Galicia.

Referencias bibliográficas

- Anderson, B., 1986 'Pupil's explanations of some aspects of chemical reactions', *Science Education* **70**(5) 549-563.
- Atkins, P.; Jones, L., 1998. trad. (3a. edición). *Química*. Ediciones Omega, Barcelona.
- Ausubel, D.; Novak, J. Y Hanesian, H. 1978. *Psicología educativa*. Trillas, México.
- Caruso, F.; Castro, M.; Domínguez, J.; García-Rodeja, E.; Iturralde, C.; Rocha, A. y Scandrolí, N., Construcción del concepto de reacción química, *Educación Química*, **9**[2] 150-157 (1998).
- Domínguez Castiñeiras, J.; García-Rodeja, E.; Caru-

so, F.; Castro, M. y Rocha, A. "El concepto de equilibrio químico, su introducción a través de la metodología de Actividades Abiertas". *Memorias Reunión Bienal de Física*, Santiago de Compostela. España, 1995.

- García Rodeja, E.; Lorenzo Barral, F.; Domínguez Castiñeiras, J. y Díaz de Bustamante, J., *Proyecto AcAb. Química*. Servicio de Publicaciones de la USC, 1987.
- Gorodetsky, M. y Gussarsky, E., Misconceptualization of the chemical equilibrium concept as revealed by different evaluation methods. *European Journal of Sc. Education* **8**[4] 427-441 (1986).
- Hackling, M. y Garnett, A., Misconceptions of chemical equilibrium, *European Journal of Science Education*, **7**, 205-214, 1985.
- Johnstone, A.; Mac Donald, J. y Webb, G., Chemical equilibrium and its conceptual difficulties, *Education in chemistry* **14**, 169 (1977a).
- Johnstone, A.; Mac Donald, J. y Webb, G., Misconceptions in school thermodynamics, *Physics education*, **5**, 248-251 (1977b).
- Nakhleh, M., *Journal of Chemical Education* **69**[3], 191-196 (1992).
- Novak, J., "A view on the current status of Ausubel's Assimilation Theory of Learning". Trabajo presentado en la reunión de la American Educational Research Association, California, 1992.
- Quílez Pardo, J. y Sanjosé López, V., Errores conceptuales en el estudio del equilibrio químico: nuevas aportaciones relacionadas con la incorrecta aplicación del Principio de Le Chatelier. *Enseñanza de las ciencias* **13**[1], 72-80 (1995).
- Routh, J; Eyman, D. y Burton, D., Compendio esencial de Química General, Orgánica y Bioquímica. 2a. ed. Reverté, 1980.