

## DIFICULTADES EN EL APRENDIZAJE DEL EQUILIBRIO QUÍMICO

Adriana L. Rocha\*

Eugenio García - Rodeja Fernández\*\*

José Manuel Domínguez Castiñeiras\*\*

\*Universidad Nacional del Centro de la Provincia  
de Buenos Aires. Argentina.

\*\*Universidade de Santiago de Compostela.

### Resumen

Se analizan las problemáticas científica y didáctica en relación con el aprendizaje del tema Equilibrio Químico. Se pretende que los resultados que surjan de esta discusión puedan tomarse como base para la elaboración de una propuesta didáctica para la enseñanza del Equilibrio Químico a nivel de Educación Polimodal (15 a 17 años) en Argentina.

Se analizaron datos provenientes de tres fuentes:

- la estructura científica del contenido conceptual,
- algunos de los trabajos de investigación que se ocupan de las dificultades de aprendizaje en este tema,
- la opinión de algunos docentes.

**Palabras clave:** equilibrio químico, dificultades de aprendizaje, educación polimodal.

### Abstract

In this paper the scientific and didactic problematics concerning the learning of chemical equilibrium will be analyzed. Our aim is to contribute to elaborate an alternative approach for teaching this topic at Secondary School (15- 17 years of age) in Argentine.

Three sources of data were analyzed:

- the scientific structure of conceptual content
- research literature related to the conceptual difficulties about chemical equilibrium
- the written opinions from a sample of teachers.

**Key words:** chemical equilibrium, learning difficulties, secondary school.

## Introducción

Desde una visión constructivista del aprendizaje resulta de gran importancia, cuando se piensa en la enseñanza de un tema determinado, no sólo el conocimiento del alumnado derivado de sus experiencias previas en la vida cotidiana (Claxton, 1991; Arnay, 1997) sino también los conceptos considerados fundamentales para el aprendizaje en ese campo (Domínguez et al., 1999).

En ese sentido, el tema Equilibrio Químico es uno de los que implica el uso de un mayor número de conceptos relacionados (reacción química, ecuación química, reversibilidad y concentración) y presenta múltiples dificultades en las que coinciden muchos de los trabajos en los que se ha investigado la comprensión en ese tema.

Particularmente en Argentina, el tema Equilibrio Químico se le presenta al alumnado generalmente, recién cuando ingresa a la Universidad; consecuentemente el universitario ingresante no ha tenido instrucción formal en este tema y necesita poseer un buen número de conceptos que resultan claves a la hora de interpretarlo.

A partir del año 1996, la Escuela Primaria (6 a 12 años) y la Escuela Secundaria (13 a 17 años) cambiaron a un nuevo Sistema Educativo, la Educación General Básica (EGB), obligatoria, de nueve años de duración y la Educación Polimodal, de tres años de duración.

En ese sentido, es importante destacar que en el Diseño Curricular del nuevo Sistema Educativo Argentino se propone, entre otros cambios en el campo de los contenidos para el Nivel Polimodal (15 a 18 años), la revalorización de temas del Área de Ciencias Naturales algo descuidados en la currícula de Enseñanza Secundaria, entre ellos el de Equilibrio Químico. En la descripción de contenidos básicos de la Formación General de Fundamento para el nivel Polimodal se propone la profundización de la visión de las transformaciones y reacciones químicas alcanzada en la Educación General Básica introduciendo el concepto de equilibrio (MCE, 1997).

Actualmente, recién se ha iniciado la implementación de esta reforma, por lo cual el análisis de la enseñanza y del aprendizaje de este tema, en el nivel Polimodal, es sin duda muy importante y plantea un desafío para los docentes de Química, si se está convencido de que, a esa altura, resulta fundamental la adquisición de una adecuada concepción de Equilibrio Químico, lo cual ayuda a interpretar un amplio espectro de sistemas tales como los ácido - base, óxido - reducción, etc. (Camacho y Good, 1989; Bergquist y Heikkinen, 1990), como así también sistemas más complejos de interés biológico e industrial. La noción de sistema en equilibrio como algo que se transforma para que todo siga igual, es lo suficientemente general como para servir de esquema integrador de muchos conocimientos científicos (Pozo, 1991).

El desafío se hace todavía más evidente cuando se analiza que el tema Equilibrio Químico es considerado, probablemente, uno de los más difíciles, tanto desde la óptica del alumnado, como desde el punto de vista de su abordaje por parte del docente.

Finley, Stewart y Yaroch (1982) pasaron un cuestionario a docentes de Química, Física, Biología y Ciencias de la Tierra (100 docentes de cada una de las disciplinas) con el objetivo de conocer sus opiniones acerca de la importancia que los diferentes contenidos de cada una de estas disciplinas tiene para sus alumnos, como así también, cuáles de ellos presentan mayores dificultades de aprendizaje. Específicamente los docentes de Química indicaron el Equilibrio Químico como el tema más dificultoso.

En relación con esto, muchos de los trabajos de investigación que apuntan específicamente a la enseñanza y el aprendizaje del Equilibrio Químico (Jonhstone y otros, 1977; Gorodetsky y Gussarsky, 1986; Quílez Pardo y Soláz, 1995) lo plantean también como uno de los temas más complejos desde el punto de vista didáctico y coinciden en cuáles son los puntos de mayor conflicto, como así también en las dificultades de aprendizaje que detectan.

El objetivo del presente trabajo es analizar las dificultades más salientes de este tema, en relación con la realidad educativa que nos ocupa, de manera tal que los resultados que se obtengan puedan tomarse como base para la elaboración de una propuesta didáctica para la enseñanza del Equilibrio Químico.

Halwachs (1975) diferenciaba entre la física del físico, la física del docente y la física del estudiante. Con ello quería señalar que, en una situación de enseñanza y aprendizaje, la ciencia de la que el profesorado habla en el aula es diferente de la del científico (y también diferente de la que construye el alumnado). Esta ciencia del profesor es el resultado de un proceso, no siempre explícito de reelaboración del conocimiento de los expertos. El estudio de los mecanismos a través de los cuales un objeto de saber científico pasa a ser objeto de saber para enseñar es el campo de lo que Chevallard ha llamado *transposición didáctica* (Jiménez y Sanmartí, 1997). La Figura I, ilustra lo dicho anteriormente.

En este trabajo se pretende traducir el conocimiento experto formal para hacerlo asequible a los alumnos. Para conseguirlo es necesario reelaborar el conocimiento de los científicos de manera que se pueda proponer al alumnado en las diferentes etapas de su proceso de aprendizaje. Es aquí donde nuestro trabajo es especial y singular: saber diferenciar lo que es relevante para la ciencia y lo que es asequible y relevante para el alumnado (Arnay, 1997).

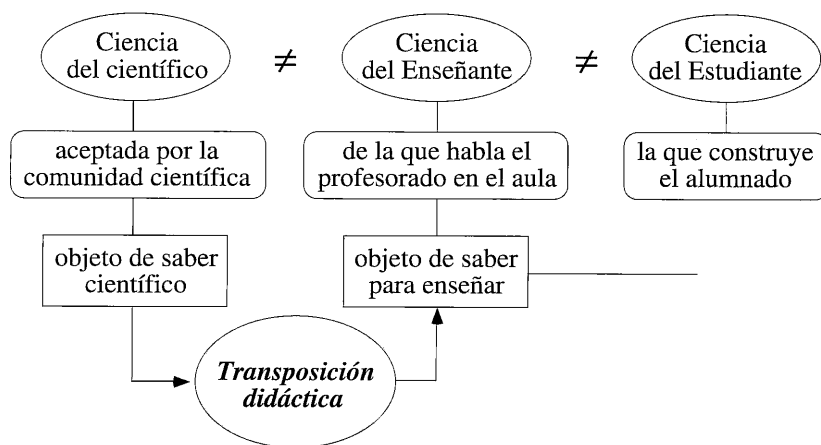
Lo que hemos realizado consiste entonces en analizar las dificultades de aprendizaje del tema Equilibrio Químico, en relación con las posibles causas, enfocadas principalmente a la Educación Polimodal (15 a 17 años de edad), a partir de:

- El contenido conceptual, desde el punto de vista científico, para reconocer cuáles son los puntos del desarrollo del tema en los que, a nuestro entender, se presentan las mayores dificultades.

- Lo que plantean los trabajos de investigación sobre la enseñanza y el aprendizaje del Equilibrio Químico, en cuanto a las dificultades relacionadas con el contenido y sus posibles causas. Hemos seleccionado, para el presente trabajo, aquellas investigaciones que se han realizado con alumnos de las edades que nos interesan.

- Lo que piensan algunos de los docentes de Química que se desempeñan en la enseñanza a nivel universitario básico en Argentina, acerca de la enseñanza y el aprendizaje del Equilibrio Químico. Elegimos los docentes de este nivel educativo dado que consideramos que son los que poseen mayor experiencia en la enseñanza del tema que nos ocupa, con alumnos, chicos y chicas de 17 y 18 años.

Figura I. Esquema que muestra la interrelación entre ciencia normal, ciencia escolar y conocimiento construido por el alumnado (tomado de Domínguez, 1999b).



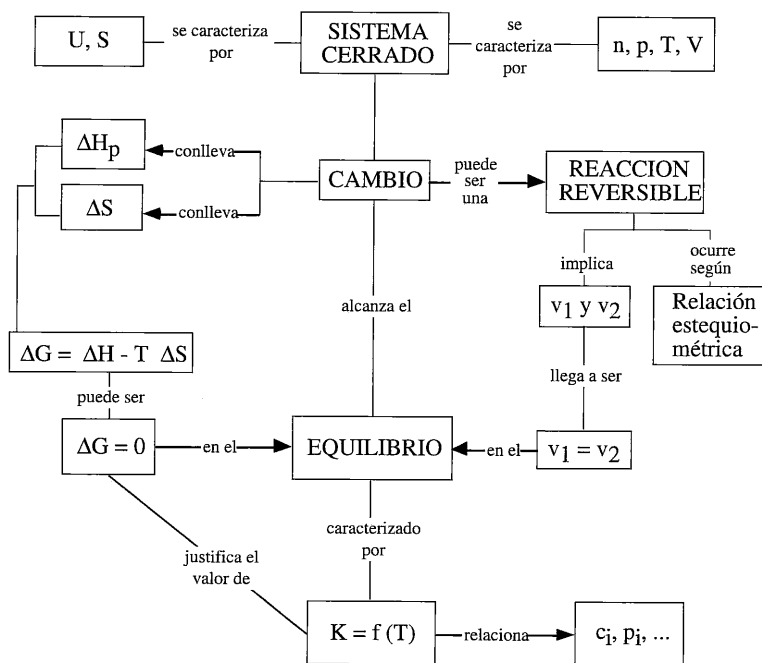
## 1. Análisis del contenido científico desde el punto de vista conceptual.

El Equilibrio Químico es, desde el punto de vista conceptual, uno de los temas de mayor riqueza tanto por el gran número de ideas que involucra, como por su interrelación con otros temas fundamentales en Química.

Para visualizar la estructura conceptual del tema se presenta la Figura II que muestra los conceptos que conforman el estudio del Equilibrio Químico y sus relaciones. A la derecha aparecen los conceptos relacionados con el enfoque cinético mientras que a la izquierda se muestran los correspondientes al abordaje termodinámico. Con esto se pretende dejar planteadas las que se consideran ideas fundamentales en relación con este tema.

Si bien el Equilibrio Químico, se fundamenta en relación con conceptos y principios provenientes del campo de la Termodinámica, la aproximación al tema desde este campo resulta demasiado abstracta como primera oportunidad para permitir que el alumno interprete lo que significa. Que un sistema químico alcanza un estado de equilibrio puede resultar difícil; ya que podría ocurrir que los alumnos del último año de Educación Polimodal no hayan tenido instrucción en la Termodinámica, cuando inician el estudio del Equilibrio Químico (Johnstone, 1977b). Incluso autores de textos de Fisicoquímica como Levine (1983), coinciden en que si bien la Termodinámica Clásica, esto es, la que trata de sistemas en equilibrio, es una ciencia macroscópica e independiente de cualquiera de las teorías de la estructura molecular es necesario adoptar a menudo *una actitud no tan ortodoxa* e introducir conceptos moleculares en las explicaciones, *para ayudar al entendimiento de la termodinámica*.

Figura II. Estructura conceptual sobre Equilibrio Químico



Nos centraremos entonces en analizar, en este primer avance, los conceptos y las relaciones que se muestran en el lado derecho de la Figura II, para discutir acerca de las dificultades que pueden presentar para el alumnado.

La idea de que un sistema cerrado, en el que tiene lugar un cambio, alcanza el equilibrio, es el punto de partida del desarrollo del tema. Esto implica en primer lugar la aceptación por parte del alumnado, de que el cambio puede ser una reacción química que ocurre en ambos sentidos, simultáneamente.

Hay estudios que muestran que los alumnos piensan que las reacciones endotérmicas no pueden ser espontáneas (Johnstone, 1977b; Ribeiro, 1990) dado que tienen la idea, generalizada, de que las situaciones tienden espontáneamente a la posición de menor energía.

La descripción del sistema que ha alcanzado el equilibrio puede conseguirse, como decíamos al principio de este punto, a partir de la interpretación molecular, la cual resulta más adecuada para el nivel educativo al que nos referimos aquí. Utilizando el modelo cinéticomolecular, se puede lograr una descripción del sistema y del cambio reversible (dos procesos opuestos simultáneos) que en él ocurre, a determinada temperatura. Se trata de un sistema que ha alcanzado un punto tal que, microscópicamente, los procesos opuestos ocurren a la misma velocidad por lo que, macroscópicamente, no se observan cambios en él. Para conseguir una visión acabada en este sentido es necesario que los alumnos hayan interpretado y continúen haciéndolo, las ideas fundamentales del modelo cinéticomolecular.

Por otro lado, se debe tener en cuenta, cuando se representa este tipo de sistemas mediante ecuaciones químicas, que el alumnado puede tener dificultad para reconocer que la ecuación química que representa la reacción da información sobre las sustancias intervinientes y sobre cómo ocurre el cambio, pero no dice nada acerca de la cantidad de cada una de las sustancias que hay presentes en el sistema cuando éste alcanza el equilibrio. Si bien para el químico, la ecuación química conlleva información acerca de los aspectos estructurales de la reacción, de sus aspectos interactivos y dinámicos, así como también de los aspectos cuantitativos (Ben Zvi, 1987); para los alumnos, probablemente la ecuación química representa poco más que una ecuación matemática.

Este estado de equilibrio queda completamente caracterizado sólo si se plantea la constante de equilibrio que corresponde a una relación de las concentraciones ó presiones parciales<sup>1</sup> de las sustancias que forman el sistema y cuyo valor, a una temperatura dada, sólo puede justificarse desde

---

<sup>1</sup> Nos referimos a concentraciones o presiones parciales y no a actividades, dado que consideramos que para iniciar el estudio del Equilibrio Químico es suficiente con trabajar con sistemas ideales (gases ideales y disoluciones diluidas) para simplificar su tratamiento.

la Termodinámica. Aquí pueden existir dificultades asociadas a la idea de concentración que haya elaborado el alumnado, ya que se trata de una magnitud intensiva que se comporta de una forma diferente a como lo hacen las magnitudes que usa habitualmente (magnitudes extensivas). Es quizá la primera vez que se enfrenta, por ejemplo, al hecho de que la concentración de una especie condensada no depende de la cantidad de ésta presente en el sistema.

## **2. Las dificultades en la enseñanza y el aprendizaje del Equilibrio Químico. Análisis a partir de investigaciones realizadas**

Las dificultades en el aprendizaje del Equilibrio Químico, aparecen como una constante en países muy diversos, tanto a nivel terciario (universitario) como a un nivel educativo inferior. Los trabajos con alumnos australianos (Hacking y Garnett, 1985), israelitas (Gorodetsky y Gussarsky, 1986), o españoles (Quílez y Solaz, 1995) han mostrado concepciones y dificultades similares. Por ello es posible, a pesar de que las concepciones que los alumnos desarrollan son construcciones personales, aprovechar las similitudes en los resultados para recoger un amplio espectro de experiencias que permitan repensar la enseñanza del tema en cuestión.

Nos hemos dedicado aquí a plantear, a partir de los trabajos de investigación, aquellas dificultades que a nuestro entender tienen más relación con la enseñanza del Equilibrio Químico con alumnos de Polimodal (17 - 18 años). Existen otros trabajos que estudian, por ejemplo, las dificultades que surgen cuando se aborda el tema desde la Termodinámica, que no hemos incluido en esta discusión.

Se describen a continuación algunas de esas dificultades detectadas en los diferentes estudios realizados, incluyendo también, en los casos en que esto es posible, la opinión de los autores de los trabajos, sobre las causas de cada una de ellas.

### **La identificación de las cantidades de cada una de las sustancias presentes en el equilibrio, como determinadas por la estequiometría de reacción**

Hackling y Garnett (1985), en el mismo trabajo a que se ha hecho referencia en el punto anterior, les piden a los alumnos en una entrevista que expliquen los cambios que ocurren en las velocidades de reacción y en las concentraciones, durante una reacción dada (que es expresada por el

entrevistador mediante una ecuación química). Encuentran que la mayoría de los alumnos explican que una vez alcanzado el equilibrio las concentraciones permanecen constantes, pero dicen que existe una relación aritmética simple entre la concentración de los reactivos y la de los productos, basándose en los coeficientes de la ecuación química. Estos autores proponen que la malinterpretación de la relación existente entre estequiometría y cantidades presentes en el equilibrio podría estar relacionada con el *énfasis dado a la estequiometría de reacción en los cursos de química*.

### **Compartimentalización del equilibrio**

Los alumnos fallan al no concebir la mezcla en equilibrio como una sola, sino que toman cada lado de la ecuación química independientemente.

Johnstone, Mac Donald y Webb (1977), a través de uno de los ítems de una prueba efectuada a 255 alumnos de 13 escuelas secundarias que habían recibido una determinada instrucción en este tema, pudieron detectar que un número importante de los alumnos conciben el sistema en equilibrio como formado por dos compartimentos separados, como si se tratase de dos recipientes diferentes. Este aspecto fue tratado también por otros investigadores como Bergquist y Heikkinen (1990) y Gussarsky y Gorodetsky (1990) estos últimos, utilizaron un test de asociación de palabras, y encontraron un resultado similar a los anteriores, trabajando con alumnos israelitas de 17 - 18 años.

Esta idea de compartimentalización del equilibrio condiciona la visión del equilibrio como consistente en la producción de dos reacciones, directa e inversa, en forma pendular (interpretación pendular del equilibrio), dos estados entre los que el sistema va y viene (como si fuera una balanza).

Al respecto, Johnstone y colaboradores (1977) proponen que este tipo de ideas pueden tener sus raíces en algunas características propias de la instrucción como por ejemplo:

- El uso de las ecuaciones químicas, con la doble flecha.
- Algunas analogías utilizadas en la enseñanza del Equilibrio Químico que consisten en dos compartimentos (por ejemplo, agua que es transferida de un recipiente a otro).
- La idea que poseen los alumnos de equilibrio, proveniente de la Mecánica (analogía con la balanza).

Pero fundamentalmente, como los autores de este mismo trabajo manifiestan, la mayor parte de las dificultades tienen su origen en el nivel de abstracción del concepto de Equilibrio Químico. En definitiva lo que ocurre, dicen Johnstone, Mac Donald y Webb (1977), es que los alumnos no adquieren una representación adecuada de lo que es un sistema en equilibrio dinámico.

## La confusión entre velocidad y extensión de la reacción

Es una de las dificultades que aparece en casi todas las investigaciones con diferentes connotaciones. Hackling y Garnett (1985), entrevistaron a 30 alumnos australianos de 17 años, que habían recibido una instrucción fundamentalmente de tipo cualitativo en el tema Equilibrio Químico y pudieron comprobar que las explicaciones, que más de la mitad de ellos dieron a los cambios ocasionados por diversos factores sobre las velocidades de reacción en el equilibrio, incluían la concepción de que la velocidad de la reacción favorecida crece y la otra decrece. Más aún, los cambios que predijeron usando el Principio de Le Chatelier, los explicaron utilizando las velocidades de la forma más conveniente para ajustarse a las mencionadas predicciones. Algunos también mostraron esta confusión cuando interpretaron el efecto de la adición de un catalizador como afectando de diferente forma a las dos reacciones. Parecen aceptar sólo superficialmente la igualdad de velocidades en el equilibrio.

A una conclusión similar llegan Johnstone, MacDonald y Webb (1977) cuando, con el objetivo de conocer qué interpretan los alumnos a partir de una determinada representación, utilizan, para describir los sistemas en equilibrio que los alumnos debían analizar, ecuaciones en las que aparecen las dos flechas de diferente longitud. Esto es interpretado por un 30% de los alumnos como que una de las reacciones (la correspondiente a la flecha más larga), ocurre a mayor velocidad que la otra y sólo un 15% dan una respuesta correcta. Este es otro caso en el cual, la utilización de la simbología está condicionando la interpretación del sistema, mostrando una vez más que los alumnos aceptan sólo superficialmente la igualdad, en el equilibrio, de las velocidades de las reacciones opuestas. Wheeler y Kass (1978), trabajando con alumnos de 17-18 años, corroboraron también la existencia de esta confusión.

## La confusión masa - concentración (variable intensiva - variable extensiva)

Según Wheeler y Kass (1978), existen dificultades para que los alumnos de todas las edades diferencien entre masa y concentración en situaciones de equilibrio. Uno de los trabajos (Furió y Ortiz, 1983) que se ocupa de ellas las detecta tanto en el tratamiento de sistemas homogéneos como heterogéneos. Este trabajo muestra claramente que el error persiste aún después de la formación universitaria. En opinión de estos autores, esto tendría relación con que *lo más importante para el alumno en una reacción química, es la cantidad de producto obtenido y no la concentración de sustancias presentes.*

## La utilización del Principio de Le Chatelier

Este es otro de los aspectos ampliamente estudiados en un gran número de investigaciones (Gorodetsky y Gussarsky (1986), Maskill y Cachapuz (1989), Quílez y Soláz (1995)). Sus implicaciones han sido discutidas con diferentes enfoques y objetivos, pero parece importante rescatar la postura de Gorodetsky y Gussarsky (1986) quienes postulan que los problemas con dicho Principio pueden considerarse basados en una aplicación mecánica del mismo y en que *el alumno no percibe el comportamiento microscópico del sistema químico*. En este sentido los mismos autores, trabajando con grupos de alumnos de 17 y 18 años, encuentran que obtienen los peores resultados en los dos grupos investigados, en lo que se refiere al aprendizaje de las características esenciales del concepto de equilibrio químico (dinamismo y composición constante) y en la identificación de los elementos relevantes e irrelevantes para el estudio de un sistema heterogéneo, con la consecuente inadecuada aplicación del Principio de Le Chatelier a este tipo de sistemas.

Los autores citados opinan que una representación microscópica, unida con *la percepción de la naturaleza dinámica (del equilibrio químico) conduciría a la comprensión*, en el caso de un sistema heterogéneo sólido - líquido, *de la importancia del sólido, dada por su presencia en el sistema y no por la cantidad*.

El hecho de que la concentración, o en su caso la actividad, de una especie condensada es independiente de la cantidad presente, es un aspecto que no se incluye habitualmente en la instrucción del alumnado cuando se estudia el tema concentración.

Resumiendo, entre las dificultades más frecuentes que muestran los que han recibido algún tipo de instrucción en el tema equilibrio químico, según lo plantean los trabajos que hemos analizado, surge que:

- Perciben el sistema en equilibrio como si fuesen dos compartimentos separados.
- Confunden velocidad y extensión de la reacción lo cual implica que aceptan sólo superficialmente la igualdad de las velocidades de las reacciones opuestas.
- Identifican las cantidades de sustancias presentes en el equilibrio con la estequiometría de la reacción (mostrada en la ecuación química).
- Tienen dificultades en la aplicación del Principio de Le Chatelier.

Esto podría ser debido en gran parte, según los propios autores de los trabajos mencionados, a que:

- Se da demasiado énfasis a la estequiometría cuando se estudian las reacciones químicas, insistiendo en el aspecto relacionado con las ecuaciones químicas y los cálculos estequiométricos.

- El alumno no percibe el comportamiento microscópico del sistema, lo cual no le permite interpretar su naturaleza dinámica y hacer por tanto una conceptualización adecuada del mismo.

### 3. Las dificultades en la enseñanza y el aprendizaje del Equilibrio Químico. La opinión de los docentes

Hasta aquí se ha expuesto lo que plantean los trabajos de investigación en cuanto a las dificultades relacionadas con el tema, pero también resulta importante conocer lo que piensan docentes de Química, que se desempeñan en la enseñanza a nivel universitario básico en Argentina, acerca de la enseñanza y el aprendizaje del equilibrio químico. Se trabaja a nivel universitario básico, pues como ya se comentó, hasta ahora el tema Equilibrio Químico es uno de los que el alumno estudia por primera vez cuando ingresa a la Universidad.

Para ello hemos diseñado una encuesta (Cuadro I) mediante la que se recogen las opiniones de doce docentes que tienen a su cargo la enseñanza de este tema a nivel universitario básico en seis universidades nacionales argentinas y se lleva a cabo el análisis de las respuestas, que se comenta en este punto.

Cuadro I. Encuesta pasada a los docentes.

1. ¿Cuál es tu lugar habitual de trabajo como docente? ¿En qué cursos das clase? ¿Qué título tienes?
2. ¿Enseñas actualmente o enseñaste alguna vez **Equilibrio Químico**?
3. ¿Qué conceptos te parecen centrales para entender el tema?
4. ¿Utilizas un modelo molecular para las explicaciones en este tema? ¿Cómo?
5. ¿Lo consideras un tema difícil de enseñar?
6. ¿Has detectado dificultades en el aprendizaje en el tema por parte de los alumnos? ¿Cuáles?

Las dos primeras preguntas nos permitieron corroborar que todos los encuestados enseñan o han enseñado alguna vez el tema Equilibrio Químico y trabajan actualmente como docentes a nivel superior (universitario). Pertenecen a seis universidades argentinas<sup>2</sup>, desempeñándose en los primeros

<sup>2</sup> Universidades Nacionales: del Centro de la Provincia de Buenos Aires, del Litoral, de Cuyo, de Buenos Aires, Tecnológica (San Rafael) y de La Plata.

cursos de Química de diversas carreras, tales como: Ingeniería Química, Licenciatura en Química, Ciencias Veterinarias, Profesorado en Física y Química, Ingeniería en Alimentos, Ingeniería Civil. Todas estas carreras incluyen Química General introductoria en la que el tema se desarrolla con diferentes objetivos en relación con los distintos perfiles.

Con las tres preguntas siguientes (3, 4 y 5), pretendemos que se ponga de manifiesto la idea que tienen los docentes encuestados acerca de cuáles son los aspectos más importantes a tener en cuenta para la enseñanza del Equilibrio Químico. La última pregunta apunta a conseguir que los docentes indiquen las dificultades que tienen sus alumnos para el aprendizaje en este tema. Intentaremos contrastar sus opiniones con las dificultades detectadas por los trabajos de investigación antes analizados.

En la Tabla I aparecen los resultados de la encuesta, cuyo análisis comentamos a continuación.

Tabla I. Respuestas de los docentes.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	F
<i>Pregunta 3.</i>													
<i>Conceptos centrales para entender el tema.</i>													
Reacción química	X	X		X									3
Ecuación química / estequiometría		X			X					X	X	X	5
Reversibilidad / reacs. incompletas		X	X		X	X	X						5
Concentración (actividad)	X	X	X		X				X		X		6
Proceso dinámico					X				X				2
Naturaleza corpuscular de la materia		X											1
Leyes de los gases		X						X					1
Ley de acción de masas										X			1
Keq												X	1
Cinética				X									1
<i>Preguntas 4 y 5</i>													
Difícil de enseñar		X				X	X	X	X		X	X	7
Usa Modelo Cinético Molecular	X	X						X	X				4
<i>Pregunta 6. Dificultades de aprendizaje.</i>													
Reversibilidad			X								X	X	3
Compartimentalización del equilibrio.	X	X			X	X			X				5
Equilibrio como algo estático	X	X							X				3
Uso del Principio de Le Chatelier		X			X		X		X				4
Resolución mecánica de problemas	X						X	X		X			4

De los doce docentes encuestados, siete consideran que Equilibrio Químico es un tema difícil de enseñar y once dicen haber detectado dificultades en el aprendizaje del tema por parte de los alumnos. Confirmando así lo que planteábamos al inicio del trabajo en cuanto a que el tema Equilibrio Químico se considera quizá uno de los más dificultosos de enseñar y aprender (Finley et al., 1982).

En este sentido, pasando ahora a analizar los conceptos que los docentes encuestados consideran centrales para el aprendizaje en el tema Equilibrio Químico aparecen: estequiometría y ecuación química, reversibilidad y reacciones incompletas y concentración (dos de los docentes hablan de actividad, posiblemente debido a que desarrollan el tema también en los cursos superiores, en Fisicoquímica) como los más citados. Se indican también, la naturaleza corpuscular de la materia, las leyes de los gases, la ley de acción de masa, la constante de equilibrio y la cinética de reacción.

En cuanto a las dificultades que han detectado en el aprendizaje del tema, llama la atención que sólo tres de los docentes parecen tener en cuenta explícitamente aquellas relacionadas con la adquisición de conceptos y/o modelos que se consideran anteriores al que nos ocupa. Los tres docentes mencionados se refieren al concepto de reversibilidad.

Por otra parte, entre quienes piensan que el Equilibrio Químico es un tema difícil de aprender, hay cuatro que dicen que utilizan el modelo cinético-molecular en sus explicaciones pero sólo uno parece considerar que es central para aprender el tema haber desarrollado (y continuar haciéndolo) una idea adecuada de este modelo. En relación con esto, tres de los docentes dicen utilizar el modelo cinéticomolecular en sus explicaciones, fundamentalmente para conseguir una mayor claridad conceptual.

La compartimentalización del equilibrio, que consignaban los trabajos de investigación como una de las malinterpretaciones frecuentes, es mencionada por cinco docentes que dicen que los alumnos ven al sistema que ha alcanzado el equilibrio, como dos compartimentos separados, no reconociendo la coexistencia de todas las sustancias intervinientes en el mismo recipiente. Tres de ellos también mencionan que los alumnos consideran el equilibrio como algo estático.

Cuatro docentes mencionan que sus alumnos tienen dificultades con la utilización del Principio de Le Chatelier. Uno de ellos habla de su preocupación porque considera que los alumnos aprenden a resolver en forma mecánica los problemas de Equilibrio Químico. Esta preocupación se manifiesta también en otros tres docentes, dos de los cuales la consignan como la única dificultad que han detectado.

#### 4. Conclusiones e implicaciones didácticas

Los trabajos de investigación consultados muestran que hay dificultades en el aprendizaje del Equilibrio Químico y casi todos los autores coinciden en que los alumnos no han adquirido una concepción clara de lo que se entiende, en la Química, por un sistema que ha alcanzado el equilibrio. No han hecho una adecuada interpretación del comportamiento del sistema químico y de los cambios que en él ocurren. Esto se relaciona con que los alumnos no perciben el comportamiento microscópico del sistema, lo cual no les permite interpretar su naturaleza dinámica y hacer por tanto una conceptualización adecuada del mismo. Algunas de esas dificultades coinciden con las que han detectado los docentes encuestados. La mayoría de los cuales consideran que los conceptos de ecuación química, reversibilidad, estequiometría, son centrales para entender el tema Equilibrio Químico. Se trata de algunos de los conceptos que hemos destacado como importantes a tener en cuenta en el análisis del contenido que hemos desarrollado al inicio.

Del análisis científico del contenido conceptual realizado, de las conclusiones a las que hemos llegado a partir de lo que plantean los trabajos de investigación y de la opinión de los docentes sobre el aprendizaje del Equilibrio Químico, hemos inferido algunas implicaciones que serán la base de una propuesta didáctica. Dicha propuesta será utilizada en la iniciación del tema, en el nivel Polimodal, para intentar superar las dificultades expuestas. Consideramos que dicha propuesta debería incluir:

- Un abordaje cinético que permita una adecuada conceptualización pero que deje abierto el camino para integrar luego el aspecto termodinámico.
- La reversibilidad de los cambios químicos.
- La posibilidad de que los alumnos perciban el comportamiento microscópico del sistema y lleguen a ser capaces de describir un sistema que ha alcanzado un estado de equilibrio dinámico como *un sistema cerrado en el que dos procesos inversos ocurren simultánea y continuamente a la misma velocidad, por lo cual la composición del sistema permanece constante* (Atkins, 1998).
- La constante de equilibrio como relación de magnitudes intensivas y su dependencia de la temperatura.

Se propone entonces, para iniciar el desarrollo del tema, utilizar un sistema sencillo como podría ser el equilibrio alcanzado por un sistema de un solo componente, que involucre un hecho conocido y significativo para el alumno (Caruso et al., 1997) para que sea interpretado utilizando el modelo cinéticomolecular, apuntando a que se puedan percibir en él los aspectos relevantes de la noción de sistema en equilibrio anteriormente señalados. Teniendo en cuenta especialmente en todo momento, las concepciones que poseen los alumnos sobre reacción química, ecuación química, estequiometría y reversibilidad.

Convencidos de que éste es uno de los temas de Química cuyo aprendizaje está más condicionado por la metodología de enseñanza utilizada, nuestro trabajo continúa con el desarrollo de una propuesta didáctica, sobre la base de lo dicho aquí.

## Agradecimientos

Al Vicerrectorado de Relaciones Exteriores y al Departamento de Didáctica das Ciencias Experimentais, de la Universidad de Santiago de Compostela, como así también a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires por la estancia en Santiago que ha hecho posible actividades de investigación conjuntas entre ambas universidades.

## Bibliografía

- Atkins, P. y Jones, L. (1998). *Química*. Ediciones Omega. Barcelona.
- Arnay, J. (1997) *Reflexiones sobre un debate sobre la construcción de conocimiento en la escuela: hacia una cultura científica escolar*. En Rodrigo, M. y Arnay, J. (compiladores). *La construcción del conocimiento escolar*. Barcelona. Paidós.
- Ben Zvi, R; Eylon, B. y Silberstein, J. (1987). *Journal Education in Chemistry* 117 - 120.
- Bergquist, W. y Heikkinen, H. (1990). Student's ideas regarding chemical equilibrium. *Journal of Chemical education* 67 (12), 1000 - 1003.
- Camacho, M. y Good, R. (1989). Problem solving and chemical equilibrium: successful versus unsuccessful performance. *Journal of research in Science Teaching* 26 (3), 251 - 272
- Caruso, F.; Castro, M.; Rocha, A.; Domínguez, J. y García - Rodeja, E. (1997). Propuesta didáctica para la enseñanza - aprendizaje del equilibrio químico. *Actas V Congreso internacional sobre investigación en la didáctica de las ciencias*. Murcia. España.
- Claxton, G. (1991). *Educating the inquiring mind. The challenge for school science*. London: Harvester. 1ª. edición en castellano (1994). *Educación mentes curiosas. El reto de la ciencia en la escuela*. Madrid. Visor.
- Domínguez, J.; de Pro, A.; García - Rodeja, E. e Illobre, M. (1999). *Esquemas de razonamiento del alumnado de E.S.O.: interpretación del posible comportamiento de un sistema cuando intercambio energía con una fuente*. En: Martínez Losada, C. y García Barros, S. (editores). *La didáctica de las ciencias. Tendencias actuales*. Coruña. servicio de Publicaciones de Universidad de Coruña.

- Domínguez, J. (1999). *Diseño curricular en Ciencias Experimentales. Materiales de trabajo*. Santiago de Compostela: Tórculo.
- Finley, Stewart y Yaroch (1982). Teachers' Perceptions of important difficult science content. *Science Education* 66 (4), 531 - 538.
- Furió Más, C. y Ortiz, E. (1983). Persistencia de errores conceptuales en el estudio del Equilibrio Químico. *Enseñanza de las Ciencias* 1 (1), 15 - 20
- Gorodetsky, M. y Gussarsky, E. (1986). Misconceptions in school thermodynamics. *European Journal Science Education* 8 (4), 427 - 441.
- Hackling, M. y Garnett, P (1985). Misconceptions of chemical equilibrium. *European Journal of Science Education* 7 (2), 205 - 214.
- Halwachs (1975) La physique du maître entre la physique du physicien et la physique de l'élève. *Revue française de pédagogie*, 33, 19-29. Traducción al castellano, en Coll (comp.): *Psicología genética y aprendizajes escolares*. Madrid: Siglo XXI.
- Jiménez M.P. y Sanmartí, N.(1997). *¿Qué Ciencia enseñar?: objetivos y contenidos en la Educación Secundaria*. En del Carmen, L. (coordinador). *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la Naturaleza en la Educación Secundaria*. Barcelona: Horsori/Cuadernos de formación del profesorado.
- Jonhstone, A.; Mac Donald, J. y Webb, G. (1977). Chemical equilibrium and its conceptual difficulties. *Education in Chemistry* 14, 169 -
- Johnstone, A.; Mac Donald, J. y Webb, G. (1977). Misconceptions in school thermodynamics. *Physics Education* 5, 248 - 251
- Levine, I. (1983). *Fisicoquímica*. Mc Graw Hill.
- Maskill, R. y Cachapuz, A. (1989). Learning about the chemistry topic of equilibrium: the use of WAT to detect developing conceptualizations. *International Journal of Science Education* 11 (1), 57 - 69.
- MCE, (1997). *Contenidos Básicos para la Educación Polimodal*. Ministerio de Cultura y educación de la Nación. Consejo Federal de Cultura y Educación. Argentina.
- Pozo, J.; Gómez Crespo, M.; Limón, M. y Sanz Serrano, A. (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: las ideas de los adolescentes sobre la química*. CIDE. Madrid.
- Quílez Pardo, J. y Soláz Portolés, J. (1995). Students and teachers missapplications of Le Chatelier Principle: implications on the teaching of chemical equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching* 32 (9), 939 - 957.
- Ribeiro, G., Costa Pereira, D. y Maskill, R. (1990). reaction and spontaneity: the influence of meaning from everyday language on fourth year undergraduate's interpretations of some simple chemical phenomena. *International Journal Science education* 12 (4), 391 - 401.
- Wheeler, A. y Kass, H. (1978). Students misconception in chemical equilibrium. *Science education* 62 (2), 223 - 232.