

Niveles de comprensión del equilibrio químico en estudiantes universitarios a partir de diferentes estrategias didácticas

Gonzalo M. A. Bermudez y Ana Lía De Longhi

Departamento de Enseñanza, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales,
Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. E-mails:
gonbermudez@yahoo.com.ar; analiadelonghi@yahoo.com.ar.

Resumen: El objetivo de este trabajo fue comparar distintas estrategias de enseñanza del contenido equilibrio químico en términos de logros de comprensión (contenidos, propósitos y formas de comunicación) en estudiantes de nivel universitario. Los resultados principales dan evidencias de numerosos obstáculos para el aprendizaje del equilibrio químico e indican que estrategias centradas en una posición constructivista del conocimiento activan más dimensiones de la comprensión que las formas tradicionales de transmisión - recepción de la enseñanza universitaria. Las propuestas de enseñanza en las que los alumnos pudieron regular y tomar conciencia de su proceso de aprendizaje, así como cuando el docente generó la discusión con sus alumnos sobre una situación problemática permitieron a los estudiantes alcanzar niveles de comprensión más altos y/o avances más significativos desde los niveles de comprensión iniciales. Proponer situaciones didácticas donde el conocimiento surge de retomar lo que el alumno ya sabe y de un cuestionamiento al contenido disciplinar crea un referente en el alumno para anclar su comprensión y da claras evidencias de la necesidad de revisar las prácticas universitarias.

Palabras clave: enseñanza para la comprensión, equilibrio químico, Biología, universidad, contenidos, propósitos, gráficos, resolución de problemas, metacognición.

Title: Understanding levels of chemical equilibrium in college students after different didactic strategies.

Abstract: The aim of this paper was to compare different teaching strategies in terms of achieving understanding of chemical equilibrium (contents, objectives and communication manners) in college students. The main findings give evidence of many obstacles to learning chemical equilibrium and suggest that strategies focused on a constructivist position activate more understanding dimensions than traditional forms of transmission - reception in the university. The teaching strategies in which students were able to regulate and become aware of their learning process, and when the teacher led the discussion about a problematic situation, allowed the scholars to reach higher understanding levels and/or advance more significantly from their initial position. To propose teaching situations where knowledge is built from what the student already knows and when the discipline content is questioned create a benchmark for the student to

anchor their understanding and provide clear evidence of the need for review college practices.

Keywords: teaching for understanding, chemical equilibrium, Biology, university, contents, objectives, graphics, problem solving, metacognition.

Introducción

1. Lo que entendemos por comprensión

La idea de comprensión está asociada a dos visiones; por un lado, a la construcción de una representación mental y, por otro, a los criterios de desempeño. Este último implica la capacidad de desenvolverse de modo flexible con un tópico, poniendo en juego la comprensión mediante explicaciones, justificaciones, resolución de problemas, la construcción de argumentos o la confección de algún producto (Perkins, 1999).

Boix Mansilla y Gardner (1999), al preguntarse cuáles son las cualidades de una comprensión profunda se vieron en la necesidad de sistematizar los géneros de desempeño en formas respetuosas de la especificidad disciplinaria y que sean válidas en diferentes dominios. De este modo, el marco conceptual de la Enseñanza para la Comprensión (Stone Wiske, 1999) destaca cuatro dimensiones de la comprensión: contenido, métodos, propósitos y formas de comunicación. A su vez, dentro de cada dimensión, el marco describe cuatro niveles de comprensión: ingenua, de principiante, de aprendiz y de maestría.

En el ámbito de la didáctica se ha probado que tanto la problematización de la enseñanza como la profundización en el nivel de comprensión de los alumnos requieren utilizar adecuadamente la comunicación con los alumnos (De Longhi y otros, 2003), provocando discusiones que, como expresan Alvermann y otros (1990), impliquen cambio de opiniones, diferentes puntos de vista, la superación de la palabra frase, el planteo de desencuentros, animar a los alumnos a que formulen preguntas, generar comentarios adecuados y comprensibles en el contexto que ocurren, dirigir su atención, etc. Esta tarea requiere planificar formas de interacción en el aula que promuevan dicha discusión (Alvermann y otros, 1990), la comprensión, la problematización y la construcción de conocimiento (De Longhi, 2007).

2. La Indagación Dialógica Problematizadora

En Argentina, desde 1995 estudiamos las interacciones comunicativas en clases de Ciencias Experimentales con el propósito de delimitar las características de una intervención que permita la emergencia de un contenido académico que respete su epistemología, para dar lugar a un proceso constructivo tanto en la enseñanza como en el aprendizaje. Se ha trabajado así desde la investigación, analizando intervenciones de docentes y alumnos asociadas a ciclos de actividad, y desde la innovación, proponiendo una estrategia que recupere las características de las situaciones didácticas, la epistemología del contenido a enseñar, su proceso problematizador y un tipo de interacción comunicativa constructivista (De Longhi, 2007).

En el análisis de las situaciones didácticas resultó relevante entender el triángulo didáctico, en el que interactúan docente, alumnos y un objeto de conocimiento en un marco particular y cambiante. En este contexto, intervienen variables institucionales, características de los docentes (representaciones, personalidad, concepciones, intereses, habla, etc.), de los alumnos (redes semánticas, representaciones, motivaciones, etc.), y del objeto que se enseña, contenidos (conceptual, procedimental, actitudinal), nivel de abstracción, de complejidad, de referencia cotidiana (Bermudez y De Longhi, 2006), etc.

Centrándonos en el tema a enseñar, remarcamos la idea de que el conocimiento que se enseña es producto de un proceso de transposición (Chevallard, 1991), que se reconstruye en la clase y se arma en su presentación, principalmente a partir de la oralidad. Sabemos que la reconstrucción de conocimientos seleccionados desde una situación de enseñanza y aprendizaje implica el surgimiento de interacciones y negociaciones de significados, las que se establecen principalmente desde las consistencias o contradicciones entre los saberes cotidianos y los científicos. La meta educativa consiste entonces en reconstruir saberes culturales generando situaciones didácticas que permitan su discusión y justificación desde un conocimiento científico. De esta manera, desde la Indagación Dialógica Problematizadora se provocan situaciones de reflexión, explicación, argumentación y meta análisis del conocimiento que expresamos, ya sea verbalmente o en escritos, al resolver las actividades de clase. Esta lógica de interacción no sólo ayuda a que los estudiantes logren un aprendizaje comprensivo sino que evita desvirtuar la lógica del contenido científico de referencia, que actúa como vigilante epistemológico (De Longhi y otros, 2003).

Existen diferentes estrategias que le dan carácter dinámico a los procesos de enseñanza y aprendizaje. Por ejemplo, Verdú Carbonell y otros (2002) proponen el modelo de instrucción problematizada, que exige un proceso de evolución, cambio conceptual y epistemológico propio de una enseñanza que sea capaz generar espacios donde promueva el pensar, hacer y debatir. Gil Pérez y Martínez Torregosa (1983) señalan que existe consenso en considerar a un problema como una situación que presenta dificultades para las que no hay soluciones evidentes. Dentro de los trabajos en esta línea de investigación se han distinguido clasificaciones tales como 'problemas cuantitativos' vs. 'problemas cualitativos' (Pozo y Gómez Crespo, 1998), 'ejercicios' vs. 'problemas de lápiz y papel', "puzzles" abiertos y cerrados, entre otras. Por otro lado, reconocemos que una parte fundamental de la construcción del conocimiento científico la constituye el proceso de aprender a hablar. El hecho de aproximarse al conocimiento científico desde las características epistemológicas de éste requiere, como expresa Lemke (1997), saber hablar ciencias y mantener el patrón temático y de actividad. Se hace necesario, entonces, prestar atención a las verbalizaciones en el aula debido a que nos ayudan a seguir el proceso de construcción del conocimiento desde las características epistemológicas del propio objeto, desde la guía del profesor y desde las intervenciones de los alumnos. En la estrategia de indagación dialógica problematizadora se suma una forma de comunicación a la propuesta de problematización, a los fines de promover el desarrollo de habilidades cognitivo-lingüísticas propias de las Ciencias.

Hasta el momento, la estrategia de indagación dialógica problematizadora se ha aplicado en el nivel secundario para diferentes temas de ciencias naturales: Ecología, Fisiología, evolución, salud y energía eléctrica (De Longhi y otros, 2005). Así mismo, esta estrategia fue implementada en el nivel primario para construir las primeras ideas sobre flotación (Ferreyra, 2005). Sin embargo, el uso de la indagación dialógica problematizadora en el nivel universitario, y para contenidos de química, no ha sido evaluado hasta el momento. Por otro lado, si bien los trabajos anteriores han evaluado didácticamente las innovaciones, los alcances comprensivos de los alumnos en clases de ciencias dictadas con esta estrategia no han sido demostrados aún. Una de las razones más importantes de probar la indagación dialógica problematizadora en los primeros años de la universidad radica en que existe 'evidencia abrumadora' de que el éxito de los alumnos está en buena medida determinado por las experiencias del primer año, caracterizado por ser un periodo de transición y ajuste, en el que el desconcierto suele acarrear grandes dificultades (Ezcurra, 2005). Además, se ha demostrado en diversas investigaciones que la motivación de los jóvenes por las carreras de ciencias y tecnología ha decaído a nivel mundial, lo que se manifiesta en un decrecimiento generalizado en la matrícula universitaria de carreras afines (Galagovsky, 2005; Royal Society of Chemistry, 2001).

3. La química y la enseñanza del equilibrio químico

Gómez Crespo (1996) señala que la química es una disciplina que necesita un lenguaje altamente simbólico y de modelos analógicos para la comprensión de sus principios debido a las dificultades que experimentan los alumnos en su aprendizaje. Estos obstáculos pueden explicarse por la ruptura que significa el pensamiento cotidiano con el pensamiento químico. Por ejemplo, en situaciones en las que los sistemas aparentemente no evolucionan en el tiempo, pero en los que tienen lugar cambios que compiten en sentidos opuestos, se opone a la causalidad simple y unidireccional con que solemos interpretar nuestra vida cotidiana (Gómez Crespo, 1996).

Estos aspectos de la química refieren a la idea de equilibrio químico y al principio de Le Chatelier, que han sido ampliamente estudiados en la Didáctica de las Ciencias (Gómez Crespo, 1996; Moncaleano y otros, 2003; Quílez Pardo y Sanjosé López, 1995, 1996; Quílez, 1998a, b, 2006). Quílez Pardo y Sanjosé López (1995) sostienen que los estudios llevados a cabo en este campo de investigación han intentado dar respuesta a cuáles son los errores o dificultades, a cuál es su origen y en qué grado se encuentran extendidos, por qué son tan resistentes al proceso de instrucción, y qué metodologías pueden ser más efectivas para tratar de evitarlos o superarlos. Estos autores han observado que en el desarrollo del tema equilibrio aparecen dificultades de aprendizaje y errores conceptuales relacionados con una incorrecta interpretación de la doble flecha, con el carácter dinámico del equilibrio, confusiones debidas a la estequiometría, errores en el estudio de los equilibrios heterogéneos, dificultades con la constante de equilibrio (K), errores acerca del efecto de catalizadores sobre el equilibrio, errores en la predicción de la evolución de un sistema en equilibrio por un cambio de las magnitudes que lo definen. En otro estudio,

Raviolo y Martínez Aznar (2003) destacaron las concepciones alternativas de los estudiantes en relación con el equilibrio químico a partir investigaciones realizadas en diversos contextos y niveles, encontrando que, en general, lo más frecuente es: a) la confusión entre cantidad y concentración, b) la imagen estática, c) la confusión entre velocidad y extensión, d) la incompreensión del papel del sólido y sus efectos en la posición y constante de equilibrio, y e) la imagen compartimentada del equilibrio (reactivos y productos por separado). Algunas cuestiones son especialmente útiles de especificar debido a la estrecha relación con nuestro estudio, como las dificultades matemáticas y estequiométricas, la incompreensión de la reversibilidad, la consideración del equilibrio como estático y único, la asociación del término equilibrio a una igualdad e inmovilidad, etc. Por su parte, van Driel y Gräber (2002) revisaron las investigaciones realizadas sobre este tema en la escuela secundaria y en la universidad, y agregan que los estudiantes: a) no discriminan entre las reacciones que se completan y las reacciones reversibles, b) pueden creer que la reacción directa se completa antes de que la reversa comience, c) pueden fallar en distinguir entre tasa (cuán rápido) y extensión (cuán lejos) de una reacción, y que d) pueden creer que la tasa de la reacción directa aumenta con el tiempo, desde el momento en el cual se mezclan los reactivos hasta que se establece el equilibrio, o que la tasa de la reacción inversa también se incrementa con el tiempo.

A partir de esta revisión surgen dos cuestiones que vale la pena señalar. Por un lado, la universalidad de las concepciones, ya que están presentes en diferentes niveles educativos y numerosas regiones geográficas; y por otro, la prueba fehaciente de que la enseñanza más frecuente en las aulas, constituida por exposiciones teóricas magistrales o actividades de resolución de problemas cuantitativos no muestra ser eficaz en superar estas dificultades (Campanario, 2002). No obstante, destacamos algunos trabajos que han sido realizados en el ámbito universitario para elaborar y probar estrategias de enseñanza de la química acordes con los avances de la Didáctica de las Ciencias (Galagovsky y otros, 2003; Moncaleano, 2007; Parolo y otros, 2004; Rocha y Scandrolí, 2000; Tovar-Gálvez, 2008).

El presente trabajo tiene como objetivo comparar distintas estrategias de enseñanza en términos de logros de comprensión del contenido equilibrio químico en estudiantes de nivel universitario. La hipótesis de la investigación es que estrategias de enseñanza que contemplen discusión de contenidos desde las ideas previas de los alumnos, problematización del contenido e instancias metacognitivas favorece la comprensión del concepto tratado.

Metodología

Contexto de la experiencia

El presente estudio se realizó en la materia Química General (primer cuatrimestre del primer año) de las Carreras de Ciencias Biológicas y Profesorado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Dicha materia tiene una estructura dividida en clases teóricas, de asistencia optativa para los alumnos, y trabajos prácticos de carácter obligatorio. Para cursar estos últimos, los alumnos se inscriben al comienzo

del cuatrimestre en alguna comisión de las seis existentes, con diferentes horarios de clase. Las clases teóricas y los trabajos prácticos tienen una carga horaria de 4 y 3,5 horas semanales, respectivamente. Los trabajos prácticos se dividen en seminarios, donde se resuelven problemas y ejercicios relacionados con algún tópico, y trabajos prácticos de laboratorio, en los que se llevan a cabo experiencias prácticas. En su mayoría, los contenidos de los trabajos prácticos también son tratados en las clases teóricas y con antelación, como fue el caso del tema equilibrio químico. En todas las comisiones de trabajos prácticos se utiliza una Guía de Trabajos Prácticos preparada por los docentes de la cátedra, la que contiene objetivos, contenidos, una breve introducción teórica del tema y numerosos ejercicios para cada clase. Para resolver estos últimos son necesarias, principalmente, la realización de cálculos y la utilización de fórmulas, pero también, aunque con menor frecuencia, se deben responder preguntas conceptuales y predecir resultados cuando se conjetura sobre cambios en las variables que definen a un sistema.

Para este estudio, de las seis comisiones de trabajos prácticos se tomaron solamente tres, las cuales compartían la condición de que alrededor del 40% de los alumnos que las componen habían asistido al teórico de este tema. La semana anterior a la implementación del diseño, que tuvo lugar en la instancia de seminario, se había estudiado el tema equilibrio químico en dos clases teóricas de dos horas de duración cada una. La semana siguiente se desarrolló un trabajo práctico de laboratorio sobre el equilibrio químico en todas las comisiones de la asignatura, en el cual los alumnos estudiaron sistemas en equilibrio gaseoso y acuoso, modificando la temperatura y las concentraciones de reactivos y productos.

El diseño de la presente investigación didáctica es de tipo cuasi-experimental, con pre y pos-test, y de carácter cualitativo. Se trabajó con grupos naturales (comisiones de trabajos prácticos) donde se aplicó en cada uno una estrategia particular (Hernández Sampieri y otros, 2006), a las que llamaremos "transmisión-recepción", "metacognición" e "indagación dialógica problematizadora". Se realizó un análisis comparado de las mismas, a través de pruebas pre-postest y desde las dimensiones de la comprensión (Boix Mansilla y Gardner, 1999).

El docente encargado de implementar las tres estrategias fue el mismo, participó de su diseño y se preparó para tal fin. Se reconoce la influencia que puede tener su aprendizaje luego de cada experiencia, por lo que se llevaron a cabo en el siguiente orden temporal: "transmisión-recepción", luego "metacognición" y, finalmente, la estrategia más integral "indagación dialógica problematizadora".

Contextos de actividad para cada grupo de alumnos

En el grupo "transmisión-recepción" (G1, 37 alumnos) se desarrolló una estrategia de enseñanza de tipo tradicional, cercana a los modelos de enseñanza-aprendizaje habituales en la universidad. En el inicio de la clase, la introducción del tema se realizó con preguntas destinadas a controlar las respuestas a los cuestionarios de la Guía de Trabajos Prácticos. La intención fue evaluativa, teniendo como finalidad detectar errores y brindar la respuesta correcta. En este caso, la construcción del conocimiento era

impuesta por el docente de modo hetero-estructurante (Not, 1983), caracterizada por una comunicación transmisiva y normativa. Las secuencias de interacción verbal fueron de tipo triádicas, típicamente de Iniciación-Respuesta-Evaluación (Sinclair y Coulthard, 1975). Este tipo de comunicación se inicia con la pregunta del docente, a la que siguen las respuestas de los alumnos, para terminar luego con la evaluación del profesor sobre lo expresado por los alumnos (De Longhi, 2007).

La tarea del docente consistió en decidir qué ejercicios serían respondidos, quién lo haría en el pizarrón y controlar el procedimiento de resolución. En el caso de que se manifestaran dudas o alguno de los alumnos a quien se le solicitó desarrollar la respuesta no "supiera" o "entendiera", se pidió a los demás que lo reemplazaran. La tarea fundamental de los alumnos consistía en controlar sus respuestas y copiar los resultados expuestos en el pizarrón. No se llevó a cabo un cierre de la clase sino que, simplemente, se mencionó cómo sería evaluado el tema equilibrio químico en la materia.

En el grupo "metacognición" (GII, 32 alumnos). Esta estrategia se basa en el dominio y regulación que tiene el sujeto sobre sus propios procesos cognoscitivos (Flavell, 1976). Tovar-Gálvez (2008) menciona que la metacognición posee una dimensión de reflexión en la que el sujeto reconoce y evalúa sus propias estructuras cognitivas, para luego administrar sus componentes en la elaboración de una estrategia de solución, aprendizaje, estudio, etc.

Estos procesos metacognitivos son recuperados también desde las actuales propuestas de "alfabetización académica". Dicha alfabetización, también conocida como alfabetización terciaria o superior, señala el conjunto de conceptos y estrategias necesarios para participar en la cultura y el discurso de las disciplinas, así como en las actividades de lectura y escritura requeridas para aprender en la universidad (Carlino, 2005). Según la autora se considera una herramienta para desarrollar, organizar y revisar el propio saber, a modo de metacognición, a través de la elaboración de resúmenes de textos, clases, la realización de guías, etc.

En este caso, la introducción de la clase abarcó más tiempo que en el grupo control y estuvo orientada a repasar el concepto, definición y condiciones del equilibrio químico, las constantes de equilibrio (K_p y K_c), el cociente de acción de masas (Q) y el principio de Le Chatelier. El docente explicaba el tema y regulaba la interacción con los alumnos para responder a sus preguntas con la finalidad de develar los conocimientos previos y someterlos a intercambios y consensos de legitimación de saberes. A su vez, cada veinte minutos aproximadamente, solicitaba a un estudiante al azar que verbalizara una síntesis parcial de lo visto a modo de comunicación de su comprensión. La etapa del desarrollo consistió, como en el caso del grupo control, en la resolución de los ejercicios de la Guía de Trabajos Prácticos, pero con un rol diferente del profesor. El docente presentaba la pregunta y ayudaba a los alumnos a que analizaran el enunciado, reconocieran los datos relevantes, el contexto de la situación problema, las variables a considerar y etapas posibles para su resolución y la formulación de su respuesta. A su vez, el docente realizaba gráficos esquemáticos acerca de la situación problema (incluyendo los aspectos macro y

microscopios), la justificación o argumento que establece la relación entre el dato y la teoría, etc. Para el cierre de la clase, se solicitó a un alumno que realizara la síntesis total, quien la preparó durante algunos minutos mientras el resto de la clase continuaba con la resolución de los últimos ejercicios de la Guía de Trabajos Prácticos.

En el grupo "indagación dialógica problematizadora" (GIII, 37 alumnos) se trabajó con la estrategia homónima con el fin de romper con los planteos habitualmente inductivos y transmisivos. Siguiendo los pasos de esta estrategia descritos por De Longhi (2007), en el inicio de la clase se explicitaron a los alumnos los objetivos y se presentó un problema abierto sobre de equilibrio químico, considerándolo potencialmente concepto estructurante para los demás temas de Química. El eje del problema radicaba en encontrar una explicación a las razones por las cuales una reacción determinada no se completa sino que los reactivos nunca desaparecen completamente (Moncaleano y otros, 2003). Esta situación problemática debía ser significativa para los alumnos y despertar su interés. Se eligió el proceso de Fritz Haber y Karl Bosch para la fabricación del amoníaco. El problema fue:

"La producción industrial del amoníaco a partir del nitrógeno e hidrógeno molecular les valió el premio Nobel a los inventores (Fritz Haber y Carl Bosch) dada la relevancia desde un punto de vista agronómico. El amoníaco es utilizado para la fabricación de fertilizantes nitrogenados como la urea y el nitrato de amonio. La reacción de formación del compuesto es la siguiente: $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightarrow 2NH_{3(g)}$. Desde un principio, los creadores del proceso Haber-Bosch tuvieron que enfrentarse a lo que en un principio pareció un problema: no todo el hidrógeno y nitrógeno que colocaban como reactivos se transformaba en producto. ¿Cuál es la razón por la que se daba esta situación?"

Los alumnos participaron activamente dando múltiples respuestas, las que fueron escritas por el docente en el pizarrón a medida que aparecían. Éste recuperaba las distintas opiniones para luego agrupar las respuestas similares y analizarlas en conjunto, traduciendo aquellas expresiones coloquiales a otras usando lenguaje de la disciplina. Se trataron las dudas que fueron surgiendo e implementaron procesos de meta análisis con el fin de salvar la diversidad de contextos mentales y lingüísticos presentes en el aula. La propuesta del docente se planificó para provocar interacciones donde hubiera reformulación de preguntas, tiempos para que los alumnos respondan, indagación de conocimientos previos, re-contextualización de respuestas, traducciones, síntesis y legitimaciones parciales, etc. (De Longhi, 2000).

La tarea principal del docente fue la de seguimiento y regulación de las comprensiones de los alumnos, lo que implicó realizar cierres parciales, ir explicitando el conocimiento y la forma en que se lo iba trabajando, es decir lo que se conoce y cómo se conoce (Duschl, 1997), también tratando de mantener el patrón temático y de actividad (Lemke, 1997). Para efectuar los cierres parciales, los alumnos se valían de sus apuntes personales y de las notas del profesor, que desde el comienzo de la clase permanecían en el pizarrón. La construcción del conocimiento nuevo fue gradual e incluyó el

concepto de equilibrio químico, la constante de equilibrio (K) y el cociente de acción de masas (Q). Para finalizar la clase se volvió al problema inicial y se solicitó a una alumna que exponga oralmente una síntesis de la ruta de trabajo, tanto procedimental como conceptualmente. En este cierre, la tarea del docente consistió en legitimar los dichos de la alumna y relacionarlos, en el caso de que no lo hiciera espontáneamente, con las situaciones particulares discutidas en la clase (anotaciones en el pizarrón, representaciones manifiestas, dificultades halladas, errores persistentes, etc.). De esta manera, y para ampliar las redes de significado, se dedicaron otros minutos de la clase con el objetivo de que los alumnos completaran o reformularan sus síntesis escritas.

Para este grupo en particular, y como última etapa de la estrategia, se realizó una actividad de transferencia no incluida en las dos anteriores. La misma se encuentra en el Anexo 1 y consistió en un cuestionario confeccionado a partir de respuestas usualmente dadas por los alumnos sobre temas del equilibrio químico. La finalidad fue provocar la revisión de sus conceptos y la aplicación de lo aprendido para identificar ellos mismos los errores y aciertos en respuestas de otros alumnos. Se sugiere la lectura de De Longhi (2007) para profundizar sobre las etapas de la estrategia, y de De Longhi y Echeverriarza (2007), para encontrar ejemplos para diferentes contenidos de Biología y Física.

A modo de resumen, las tres estrategias empleadas fueron marcadamente diferentes en cuanto al rol de alumnos y docente en el tratamiento del contenido.

Evaluación del nivel de comprensión de los estudiantes y registro de las clases

Se elaboró un cuestionario para evaluar el nivel de comprensión del tema equilibrio químico (Anexo 2), abarcando la dimensión de los contenidos (preguntas 1, 2 y 3), propósitos (pregunta 4), y formas de comunicación (preguntas 5 y 6) (Boix Mansilla y Gardner, 1999). El cuestionario fue utilizado como pre-test y pos-test, empleando veinte minutos para responderlo al inicio y al finalizar la clase. Con las respuestas de los alumnos se armaron las categorías de comprensión tipo ingenuas, principiante, aprendiz y maestría (Boix Mansilla y Gardner, 1999) propias para el contenido de Química tratado.

Para cuantificar estos niveles se asignó el valor de 1 a las respuestas categorizadas como ingenuas (así como también a la ausencia de respuesta), 2 a las de principiante, 3 a las de aprendiz y 4 a las de maestría. De este modo, cada respuesta de cada alumno recibió un puntaje establecido según el criterio antes mencionado a la vez que, por otro lado, fue registrado el tipo de error conceptual o procedimental para un análisis cualitativo acerca de las dificultades específicas del tema equilibrio químico.

Para comparar el nivel de comprensión inicial y el alcanzado luego de la clase, se realizó un Análisis de la Variancia (ANOVA) luego de comprobar sus supuestos de distribución normal y homocedasticidad. La homocedasticidad, u homogeneidad de varianzas, refiere a la igualdad de las variancias de todas las muestras (de cada grupo de alumnos, en este caso), una característica fundamental que debe cumplirse antes de practicar

el ANOVA. Cuando las diferencias fueron significativas ($p < 0.05$) se empleó el test de comparación múltiple de Tukey, que es una de las pruebas frecuentemente usadas para identificar la media, de un conjunto de valores promedio, que difiere del resto (de los tres grupos de alumnos, en este caso). Por otro lado, y con el objetivo de estudiar el efecto del nivel de comprensión de partida de los estudiantes sobre el alcanzado al final, y cómo las diferentes estrategias pueden favorecer una incremento en la comprensión, se llevó a cabo un análisis de regresión lineal ($y = ax + b$). Para ello, el nivel de comprensión alcanzado para cada pregunta (y) fue definido por su nivel de comprensión inicial (x , variable independiente), donde 'a' es la tangente de la regresión y 'b', la ordenada al origen. La tangente nos indica qué tanto se incrementa o disminuye (en el caso de ser significativamente diferente de cero) el nivel de comprensión de cada alumno luego de la clase. Si bien el Análisis de la Variancia nos permite evaluar la estrategia de enseñanza sobre el grupo-clase, la tangente obtenida a través del análisis de regresión lineal nos habilita a interpretar los cambios experimentados por cada alumno y, en este caso, desenmascarar las situaciones en las que un promedio alto de clase, en el nivel de comprensión de un tópico, sea la consecuencia de que consistentemente un cierto grupo de alumnos haya comprendido profundamente dicho tema desde el inicio. En definitiva, el análisis de regresión lineal nos permite entender en qué grado cambia el nivel de comprensión de los alumnos con la estrategia de enseñanza propuesta.

La interacción discursiva de cada clase se registró con audio y las notas del diario del profesor. Además, se analizaron las notas de los apuntes tomadas por los alumnos.

Resultados y discusión

Categorías resultantes de los niveles de comprensión

En relación con la dimensión del contenido, y a modo de ejemplo, se presentan las categorías para los niveles de comprensión que se elaboraron a partir de las respuestas de los alumnos al pre y postest. La noción de equilibrio químico que consideramos adecuada, y que categorizamos como "comprensión maestra", es la que entiende el estado de equilibrio dinámico como el 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 (Reboiras, 2006). La "comprensión de aprendiz" para el mismo concepto fue señalada como aquella circunscripta al aspecto microscópico o macroscópico de la definición de maestría (Moncaleano y otros, 2003). Es decir, mientras que el primero refiere solamente a la igualdad en las velocidades izquierda y derecha de las reacciones reversibles (por ejemplo, cuando un alumno expresa que "el equilibrio se da cuando la velocidad de la reacción derecha es igual a la velocidad de la reacción izquierda"), el segundo indica las concentraciones constantes de reactivos y productos (por ejemplo, "una reacción reversible alcanza el equilibrio cuando las concentraciones de reactivos y productos se mantienen constantes a lo largo del tiempo"). Las formulaciones que correspondieron a una "comprensión de principiante" se caracterizaron por describir relaciones

indeterminadas entre las sustancias de la reacción (“el equilibrio químico es cuando los reactivos son iguales a los productos”), o con errores conceptuales como la confusión entre cantidad y concentración (“... cuando las cantidades de reactivos son iguales a las de los productos”, “...cuando las masas de reactivos y de los productos no cambian a medida que lo hace el tiempo”). Por último, el nivel de “comprensión ingenuo” comprendió tanto la falta de respuesta como expresiones del tipo “el equilibrio químico se da cuando la reacción está balanceada estequiométricamente / se balancea automáticamente”, “... ocurre cuando deja de haber reacción” y “hay equilibrio cuando una reacción es reversible”. En estos casos, se hace evidente la confusión del equilibrio con el balance estequiométrico y la condición de reversibilidad, además de entenderlo como algo estático e invariable (Driel y Gräber, 2002; Mocaleano y otros, 2003, Raviolo y Martínez Aznar, 2003).

Dimensiones de la comprensión de los alumnos en las tres estrategias

Valoración de la dimensión del contenido

Definición del equilibrio químico

Conviene aclarar aquí que limitaremos nuestro análisis a los niveles de comprensión alcanzados en el postest debido a que, por un lado, los resultados del pretest no difirieron significativamente en todas las preguntas (Tabla 1); y por otro, a que las respuestas de los alumnos no tendrían interés en sí como concepciones alternativas, sino como obstáculos que se manifiestan en cierto grado luego de la implementación de las estrategias de enseñanza propias de la materia.

La pregunta 1 solicitó a los alumnos la definición de este concepto químico (Anexo 2), no encontrándose diferencias significativas entre los grupos de alumnos en el postest (Tabla 1). La mayoría de las respuestas establecieron que la condición de equilibrio es la dada por una determinada relación de productos y reactivos, sin precisar correctamente cuál (20%). Por ejemplo: “El equilibrio es cuando en una reacción a una temperatura constante, los valores de los reactivos y productos llegan a un punto en que son iguales”. Otros alumnos mencionaron que la relación existente entre las especies químicas de una reacción es la de concentraciones constantes a lo largo del tiempo (7%, “Hay equilibrio cuando las concentraciones de los productos y reactivos son constantes a lo largo del tiempo”), o la de velocidades de formación idénticas entre productos y reactivos (44%, “El equilibrio químico se da cuando la velocidad en que los reactivos se producen es igual a la velocidad en que los productos forman reactivos”). Según Mocaleano y otros (2003), existen dos visiones del equilibrio químico en cuanto al nivel de explicación del fenómeno: en términos macro- (concentraciones constantes) y microscópicos (iguales velocidades de formación de productos y reactivos, respectivamente). En nuestro estudio, sólo el 18% de los alumnos definió la condición de equilibrio químico tanto a nivel de velocidades de formación (explicación microscópica) como considerando la explicación macroscópica.

Si consideramos el cambio en el nivel de comprensión del equilibrio químico entre el pretest y el postest analizando el valor de la tangente de la

recta de regresión (postest como variable dependiente; Tabla 2), notamos que el incremento fue significativo y en igual medida para los grupos "transmisión-recepción" e "indagación dialógica problematizadora".

| Preg. | test | Tratamiento | | | ANOVA |
|-------|------|----------------|----------------|----------------|-------|
| | | GI | GII | GIII | |
| 1 | PRE | 2.18 ± 0.18 | 1.85 ± 0.13 | 2.31 ± 0.17 | ns |
| | POS | 2.74 ± 0.18 | 2.56 ± 0.12 | 2.87 ± 0.13 | ns |
| 2 a) | PRE | 2.23 ± 0.18 ab | 1.97 ± 0.19 b | 2.72 ± 0.19 a | * |
| | POS | 3.49 ± 0.12 a | 2.76 ± 0.21 b | 2.92 ± 0.19 ab | * |
| b) | PRE | 1.69 ± 0.18 | 1.59 ± 0.16 | 1.97 ± 0.17 | ns |
| | POS | 3.03 ± 0.15 a | 2.18 ± 0.18 b | 2.23 ± 0.17 b | *** |
| c) | PRE | 1.62 ± 0.14 | 1.76 ± 0.17 | 2.15 ± 0.18 | ns |
| | POS | 2.38 ± 0.15 b | 3.12 ± 0.23 a | 2.64 ± 0.18 b | * |
| 3 | PRE | 1.33 ± 0.12 ab | 1.29 ± 0.12 b | 1.79 ± 0.18 a | * |
| | POS | 2.54 ± 0.21 | 2.56 ± 0.24 | 2.36 ± 0.22 | ns |
| 4 | PRE | 1.92 ± 0.17 b | 1.71 ± 0.18 b | 2.64 ± 0.19 a | *** |
| | POS | 2.51 ± 0.18 b | 3.00 ± 0.21 ab | 3.49 ± 0.13 a | *** |
| 5 | PRE | 1.23 ± 0.10 b | 1.74 ± 0.20 a | 1.72 ± 0.16 a | * |
| | POS | 2.13 ± 0.20 b | 2.71 ± 0.24 ab | 3.05 ± 0.20 a | ** |
| 6 | PRE | 1.00 ± 0.01 b | 1.18 ± 0.10 b | 1.69 ± 0.20 a | *** |
| | POS | 1.82 ± 0.21 b | 2.35 ± 0.26 ab | 2.92 ± 0.22 a | ** |

Tabla 1.- Nivel de comprensión de alumnos universitarios sobre diversos aspectos del equilibrio químico (media ± error estándar). Referencias: GI: grupo "transmisión-recepción", GII: grupo "metacognición", GIII: grupo "indagación dialógica problematizadora". PRE: pretest, POS: postest. ANOVA: Análisis de la Variancia. Ns: no significativo. * significativo a un nivel de probabilidad de 0.05. ** significativo a un nivel de probabilidad de 0.01. *** significativo a un nivel de probabilidad de 0.001.

Constante de equilibrio químico

Con relación a la constante de equilibrio (K), la pregunta 2 a) hacía referencia a la formulación de una forma particular de la constante (K_c) (Anexo 2). Encontramos pocas diferencias entre los grupos, con igual nivel de comprensión entre el grupo "transmisión-recepción" y "metacognición" (Tabla 1). Este resultado puede deberse al énfasis dado en el desarrollo de la clase del grupo control a la resolución de problemas cuantitativos de la Guía de Trabajos Prácticos. Si bien estos problemas son de naturaleza cerrada, la resolución reiterada de los mismos permitiría reforzar conceptos básicos y cometer pocos errores con las fórmulas empleadas. Los ejercicios de la Guía de Trabajos Prácticos requieren trabajar específicamente la forma de calcular la constante de equilibrio según los estados de agregación de reactivos y productos. Los errores más frecuentes que se encontraron en el postest fueron la inclusión de sólidos en la fórmula de la constante de equilibrio K_c (GI: 5%, GII: 24%, GIII: 21%), no elevar las concentraciones de productos y reactivos a sus coeficientes estequiométricos (GI: 4%, GII: 12%) y realizar el cociente entre reactivos (numerador) y productos (denominador; GII: 12%). La inclusión de sólidos en la fórmula de la constante de equilibrio (K_c) es atribuida a la frecuente confusión entre

cantidad y concentración (Quílez Pardo y Sanjosé López, 1995; Raviolo y Martínez Aznar, 2003).

Si consideramos el incremento entre los niveles de comprensión inicial y final notamos que los valores de la tangente más alta fueron los hallados para los grupos "indagación dialógica problematizadora" y "metacognición" (0.86 y 0.61, respectivamente). Este resultado mostraría que a pesar de que en promedio estos grupos tuvieran un rendimiento final similar en cuanto a la forma de calcular la constante de equilibrio (K_c), los alumnos del grupo "indagación dialógica problematizadora" incrementaron el nivel de su comprensión más significativamente que el grupo "metacognición". A su vez, teniendo en cuenta que un error en la fórmula empleada puede acarrear resultados incorrectos en una evaluación sumativa de tipo cuantitativa, como la que caracteriza los exámenes finales universitarios de ciencias experimentales, la estrategia de indagación dialógica problematizadora podría influir positivamente en el rendimiento académico de los alumnos.

| Pregunta | | Tratamiento | | |
|----------|---|-------------|---------|---------|
| | | GI | GII | GIII |
| 1 | a | 0.35** | ns | 0.37** |
| | b | 1.93*** | 2.48*** | 2.02*** |
| 2 a) | a | 0.36*** | 0.61*** | 0.86*** |
| | b | 2.68*** | 1.51*** | 1.02** |
| b) | a | ns | 0.48* | 0.79*** |
| | b | 2.65*** | 1.42*** | 0.89*** |
| c) | a | ns | ns | 0.43** |
| | b | 1.92*** | 2.60*** | 1.72*** |
| 3 | a | ns | 0.72* | 0.62*** |
| | b | 2.51*** | 1.54** | 1.24** |
| 4 | a | ns | ns | ns |
| | b | 1.97*** | 2.54*** | 3.15*** |
| 5 | a | ns | 0.46* | 0.47* |
| | b | 1.48** | 1.91*** | 2.25*** |
| 6 | a | ns | ns | 0.45* |
| | b | ns | ns | 2.19*** |

Tabla 2.- Análisis de regresión lineal ($y = ax + b$) con el nivel de comprensión alcanzado en postest como variable dependiente del nivel de comprensión del pretest (x, variable independiente). Referencias: GI: grupo "transmisión-regresión", GII: grupo "metacognición", GIII: grupo "indagación dialógica problematizadora". ns: no significativo. * significativo a un nivel de probabilidad de 0.05. ** significativo a un nivel de probabilidad de 0.01. *** significativo a un nivel de probabilidad de 0.001. a = tangente, b = ordenada al origen.

En la pregunta 2 b) se solicitaba a los alumnos que escribieran la fórmula de otra forma particular de la constante de equilibrio: la de equilibrio en fase gaseosa, o K_p (Anexo 2). Los resultados del postest señalan un nivel de comprensión significativamente superior del grupo "transmisión-recepción" (Tabla 1), mientras que no se encontraron diferencias significativas entre los grupos "metacognición" e "indagación dialógica problematizadora". Resulta casi evidente pensar que, como mencionamos anteriormente, la resolución reiterada de ejercicios de la Guía de Trabajos Prácticos en el

grupo "transmisión-recepción" ha influido positivamente en el nivel de comprensión final de los alumnos. Los errores más frecuentes del postest en el cálculo de la constante de equilibrio en fase gaseosa fueron la inclusión de sustancias acuosas (GI: 41%, GII: 24%, GIII: 31%), de sólidos (GIII: 23%), la expresión de las sustancias en magnitudes de concentración en vez de presiones parciales (GI: 10%, GII: 21%, GIII: 21%), y la inversión entre reactivos y productos para realizar el cálculo del cociente (GI: 8%, GII: 12%, GIII: 8%).

Si consideramos el incremento en el nivel de comprensión entre pretest y postest (Tabla 2), notamos que sólo los alumnos de los grupos "metacognición" e "indagación dialógica problematizadora" profundizaron su comprensión significativamente. Este resultado muestra que las estrategias de enseñanza empleadas en ambos casos favorecen un cambio hacia un nivel de comprensión más elevado, cualquiera sea el nivel de partida. En cambio, en el grupo "transmisión-recepción", la tangente de la recta de regresión permite inferir que los alumnos mantuvieron consistentemente un nivel elevado de comprensión en ambos tests.

La pregunta 2 c) tuvo como objetivo poner a prueba a los alumnos ante el frecuente error de considerar que el valor de la constante de equilibrio debe ser igual a uno para que el sistema se encuentre en la condición de equilibrio (Anexo 2) (Raviolo y Martínez Aznar, 2003). En la Tabla 1 se muestra que los alumnos del grupo "metacognición" manifestaron un nivel de comprensión significativamente más alto que el "transmisión-recepción" y que el grupo "indagación dialógica problematizadora". Las actividades específicas de metacognición desarrolladas en la clase del grupo "metacognición" influyeron positivamente en la comprensión del valor de la constante de equilibrio (K) debido a que este tópico surgió en la discusión y debió ser tratado particularmente. Remarcamos el valor didáctico de las instancias metacognitivas ya que permiten a los estudiantes no sólo reconocer el qué, cómo, cuándo y porqué de lo que se está enseñando y aprendiendo, sino también reconocer los obstáculos de aprendizaje que poseen los alumnos. En este sentido, el error más frecuente que encontramos fue la consideración de que el valor de la K tiene que ser igual a uno para que el sistema se encuentre en equilibrio (GI: 62%, GII: 9%, GIII: 49%). También hallamos expresiones referidas a que la K debe ser igual o inferior a cero (GII: 9%). Si consideramos además el grado en el que cambió el nivel de comprensión desde el pretest al postest (Tabla 2) podemos observar cómo la tangente del análisis de regresión fue significativamente diferente de cero sólo en el grupo indagación dialógica problematizadora.

Interpretación de cambios en el equilibrio y en la constante de equilibrio

La pregunta 3 solicitaba a los alumnos que predigan el efecto del agregado de un producto sólido a una reacción que se encontraba en equilibrio químico (Anexo 2) sobre el equilibrio y sobre la constante (K_c). Con esta pregunta se ponen en juego la correcta aplicación y rango de utilización del principio de Le Chatelier (Quílez Pardo y Sanjosé López, 1995; Quílez, 1998b). No se encontraron diferencias entre comisiones en el nivel de comprensión alcanzado para este tema, pero sí importantes obstáculos de aprendizaje (Tabla 1). Sólo el 13% de los estudiantes

respondió en forma correcta; es decir, que el agregado de un producto sólido a una reacción en equilibrio no modifica el valor de la constante K_c ni la posición de dicho equilibrio (no ocurre desplazamiento). Sin embargo, la mayoría de los estudiantes (61%) respondió que si bien el valor de K_c no cambiaba, inicialmente se produciría un desplazamiento de la posición de equilibrio. Nuestros resultados coinciden con diversos autores que señalan que errores de este tipo se deben a una incorrecta aplicación del principio de Le Chatelier y a la asociación masa-concentración de sólidos en el equilibrio (Quílez Pardo y otros, 1993; Quílez Pardo y Sanjosé López, 1995; Quílez, 2006; Raviolo y Martínez Aznar, 2003). Esta última confusión ya había sido hallada en el caso de las preguntas 2a y b, con lo que se evidencia el efecto más profundo de la incomprensión a la hora de predecir cambios en equilibrios heterogéneos. En la Tabla 2 se observa que los grupos "metacognición" e "indagación dialógica problematizadora" experimentaron un incremento significativo en el nivel de comprensión de los cambios en el equilibrio y el valor de la constante de equilibrio (K_c) ante la modificación de las condiciones iniciales.

Valoración de la dimensión de los propósitos

Propósito de conocer el valor de la constante de equilibrio químico

En la tabla 1 se observa que los alumnos del grupo "indagación dialógica problematizadora" tuvieron un nivel de comprensión más elevado que el grupo "transmisión-recepción" en las respuestas a la pregunta 4 (Anexo 2). La mayoría de los alumnos falló al considerar que el valor de la constante de equilibrio (K) sirve sólo para saber las concentraciones en el equilibrio (GI: 5%, GII: 24%, GIII: 5%). Si bien esta respuesta es parcialmente correcta, las formulaciones de los alumnos han estado ligadas a la resolución de ejercicios de la Guía de Trabajos Prácticos, en las que se solicitaba calcular la concentración de alguna de las especies intervinientes a partir del valor de la constante de equilibrio (K). Numerosos trabajos dan cuenta de la dificultad de entender el verdadero sentido del valor de esta constante (Moncaleano y otros, 2003; Raviolo y Martínez Aznar, 2003; van Driel y Gräber, 2002), en tanto que hace referencia a la tendencia hacia la formación de reactivos o productos, lo que se interpreta como la extensión de la reacción directa sobre la inversa (Reboiras, 2006). Algunos alumnos interpretaron que conocer el valor de la constante de equilibrio (K) sirve para "ver hacia dónde se ve desplazado el equilibrio" (GI: 15%, GIII: 15%), lo que representa una concepción errónea de que es el equilibrio el que se desplaza y no la reacción, ya que la constante de equilibrio químico permanece constante ante la mayoría de los cambios (concentraciones, presión, temperatura, volumen), salvo el de temperatura (Reboiras, 2006). Otro error que encontramos fue que los alumnos consideraran que conocer el valor de la constante de equilibrio (K) les permite saber si una reacción es reversible o la velocidad con la que ocurre (GI: 8%, GII: 6%, GIII: 6%). Estas respuestas se relacionan con una frecuente asociación entre esta constante y la velocidad de la reacción (Moncaleano y otros, 2003; Raviolo y Martínez Aznar, 2003; van Driel y Gräber, 2002). En coincidencia con Moncaleano y otros (2003) y con Sánchez y otros (2006), observamos que los alumnos se centran en el cálculo matemático de la constante, con una visión operativa, al explicar la constante de equilibrio (K) en términos del

cociente entre productos y reactivos (GI: 13%, GII: 3%, GIII: 13%): "sirve para saber si hay más producto que reactivo en el equilibrio", "si la K es uno quiere decir que hay igual cantidad de producto y reactivo". Por otro lado, en la Tabla 2 se observa que los cambios entre los pretest y postest (análisis de la tangente) no fueron significativos para ninguno de los grupos de alumnos.

Valoración de la dimensión de las formas de comunicación

Gráficos de concentración de reactivos y productos en función del tiempo

La pregunta 5 pedía a los alumnos que graficaran la concentración de un reactivo gaseoso en función del tiempo (Anexo 2). La importancia de la construcción de gráficos radica en que la ciencia utiliza estas representaciones semióticas externas para comunicar o evidenciar conceptos. En particular, las gráficas cartesianas son utilizadas como representaciones puente entre los datos experimentales y las formalizaciones científicas, determinando las relaciones que existen entre las variables intervinientes (García García y Perales Palacios, 2005). García García y Perales Palacios (2007) afirman que la realización de actividades relacionadas con la conversión de representaciones semióticas influye positivamente en la comprensión del tema en cuestión. En nuestro estudio, hemos encontrado que los alumnos del grupo "indagación dialógica problematizadora" mostraron un nivel de comprensión más elevado que el grupo "transmisión-recepción" (Tabla 1). En este caso, los errores frecuentes fueron considerar una relación directamente proporcional y positiva de la concentración del reactivo en función del tiempo (GI: 15%, GII: 12%, GIII: 8%), o una disminución en función del tiempo bajo curvas lineales, sigmoideas, u otras no reconocibles (GI: 20%, GII: 8%, GIII: 8%). Por otro lado, si se considera la tangente del análisis de regresión (Tabla 2), se observa que solamente los alumnos de los grupos "metacognición" e "indagación dialógica problematizadora" avanzaron significativamente en la comprensión desde el pretest al postest (0.46 y 0.47, respectivamente).

En el caso de la pregunta 6, que solicitaba la realización de un gráfico que represente la concentración de un reactivo líquido en función del tiempo (Anexo 2), el grupo "indagación dialógica problematizadora" alcanzó el nivel de comprensión más alto. Los tipos de errores fueron similares a los de la pregunta anterior, sólo que en este caso, la respuesta correcta consistía un gráfico donde la concentración no varía en función del tiempo debido a que líquidos y sólidos puros tienen una concentración constante. De la misma manera que fue señalado para la pregunta 3, existe una frecuente confusión entre masa, sustancias puras y concentración de soluciones acuosas (Quílez Pardo y Sanjosé López, 1995; Quílez 2006; Raviolo y Martínez Aznar, 2003). El nivel de maestría fue alcanzado por el 23%, 44% y 59% de los alumnos de los grupos "transmisión-recepción", "metacognición" e "indagación dialógica problematizadora", respectivamente. El análisis de la regresión (Tabla 2) indica, como para la pregunta anterior, que los alumnos que aumentaron su nivel de comprensión significativamente entre el pre y postest fueron los del grupo "indagación dialógica problematizadora".

Valoración de las estrategias desde la perspectiva del docente

El docente pudo implementar tres estrategias diferentes, acorde a lo planificado. No obstante, requirió de mucho control por parte de éste para mantener los límites necesarios en cada caso. Resulta evidente que para implementar los modelos “metacognición” e “indagación dialógica problematizadora” se requiere de un docente con posicionamiento constructivista, como era nuestro caso. Fue por ello que lo realizado en el grupo “transmisión-recepción” se armó como una actuación intencional, corriendo el riesgo de perder naturalidad en la toma de decisiones didácticas, como lo hubiera realizado un docente que habitualmente cumple con tal modelo.

El docente a cargo pudo cumplir con lo estipulado para sus actuaciones referidas, principalmente, a cuándo, cómo y qué tipo de intervención verbal realizar, los tiempos dados a los alumnos, la flexibilidad en la forma de ir secuenciando los contenidos, los tipos, niveles y momentos de realizar las legitimaciones de contenidos y procesos, la participación de los alumnos, la consideración de una o varias rutas de análisis del contenido. Estos resultados surgieron de comparar los registros de diálogo de la implementación de las tres estrategias de enseñanza. Este análisis no forma parte de este artículo, sino que tales registros pueden encontrarse transcritos y analizados en De Longhi y Bermudez (2010).

La actividad de aplicación (Anexo 1) del grupo “indagación dialógica problematizadora” no pudo llevarse a cabo durante la clase debido a la falta de tiempo, por lo que se encargó como tarea para la casa. Los alumnos entregaron esta actividad la semana siguiente, y el docente la corrigió y devolvió en la clase posterior. Esta coyuntura ayudó a que la actividad de transferencia no influyera en el postest y nos permitió revisar el planteo metodológico inicial de la estrategia. Asimismo, el docente retiró y corrigió las síntesis escritas por los alumnos del grupo “transmisión-recepción”, realizando la devolución correspondiente la semana siguiente. La corrección de los apuntes de clase de los estudiantes, tarea muy frecuente en la escuela primaria, se va perdiendo a medida que se avanza en el sistema educativo hasta desaparecer casi completamente en la enseñanza superior. Aunque en asignaturas universitarias morfo-fisiológicas la interpretación de una forma vista al microscopio, por ejemplo, es generalmente mediada por un esquema que realiza el alumno en su cuaderno y que el docente corrobora, en la enseñanza de la química, los cuadernos de clase de los estudiantes son frecuentemente ajenos al desenvolvimiento docente. Inicialmente, los mismos alumnos preguntaban con desconcierto acerca de la finalidad de la corrección, descreyendo de su valor. Sin embargo, hacia el final de la clase, los estudiantes manifestaron haber tomado conciencia de la importancia metacognitiva de la elaboración de las síntesis parciales y la final, con lo que su preocupación se centró en la posibilidad de cometer errores conceptuales. El docente pudo llevar a cabo la corrección con rapidez, dentro del horario habitual que contempla el mínimo de horas de actividad docente de su universidad (diez horas semanales), e identificar la presencia de errores, dificultades y omisiones en los registros de clase de sus alumnos. En el Anexo 3 figura un ejemplo de síntesis que no superó las expectativas de la actividad, por lo que fue oportunamente devuelto para

ser reescrito. En este caso, el alumno no definió correctamente el equilibrio químico, utilizó un lenguaje ambiguo que puede dar lugar a confusiones y no reflejó todos los temas tratados en la clase.

Conclusiones

La Enseñanza para la Comprensión permitió identificar niveles de comprensión desde diferentes dimensiones, como los contenidos, los propósitos, los métodos y las formas de comunicación. Esta estructura de análisis también sirvió para diferenciar logros de aprendizaje a partir de la implementación de diferentes estrategias de enseñanza en la universidad. En tal sentido, hallamos que las estrategias que denominamos "tradicionales", con una visión de transmisión-recepción acerca de los procesos de enseñanza y aprendizaje, favorecen la comprensión de conceptos, al menos a nivel de su formulación. Sin embargo, los alumnos alcanzaron niveles de comprensión más altos y/o avanzaron más significativamente desde sus niveles de partida cuando las estrategias docentes se basaron en posturas constructivistas.

Vale la pena señalar la forma en la que influye en el aprendizaje del alumno el rol del docente en la clase. Si bien la estrategia de enseñanza no es causa directa del aprendizaje, es quien propone contextos de referencia para una adecuada transposición de los conocimientos. Plantear situaciones didácticas donde el conocimiento surge de retomar lo que el alumno ya sabe y de un cuestionamiento al contenido disciplinar, creando un referente en el alumno para anclar su comprensión, dan claras evidencias de la necesidad de revisar las prácticas con modelos transmisivos exclusivamente. Se hace una tarea didáctica necesaria encontrar situaciones problemáticas que generen la movilidad del conocimiento en el aula, dándole un carácter funcional, así como planificar y reflexionar sobre la interacción dialógica que surja con los estudiantes a partir de ellas.

Llevar a cabo una estrategia de enseñanza que tenga como propósito explícito el avance desde una comprensión ingenua hacia una de maestría influye positivamente en el rendimiento de los alumnos. Futuros profesionales que posean una verdadera comprensión de la disciplina en estudio es el objetivo fundamental de la tarea docente. Lograrlo implica adoptar una serie de cambios en las prácticas "tradicionales" universitarias, como una planificación intencional, permitir hablar y participar a los alumnos, planear la intervención verbal, sacar a la luz las ideas y conocimientos previos, resolver incongruencias, traducir las expresiones cotidianas a un lenguaje aceptado por la disciplina, realizar síntesis parciales de lo discutido en la clase, etc.

Lo anterior pone en evidencia la formación didáctica del docente, necesaria para superar dos nociones habituales y profundamente arraigadas en la enseñanza universitaria: el uso del sentido común y la creencia de que saber la disciplina es razón suficiente para dar clase. Con este trabajo, además, se vio cómo la Guía de Trabajos Prácticos, un recurso universitario muy difundido, puede ser resignificado por las diferentes actuaciones del docente en cada una de las estrategias. En concordancia con un creciente número de experiencias, esta investigación aporta al planteo de una revisión de las prácticas de la enseñanza universitaria.

La formación de los futuros científicos constituye un desafío permanente para los docentes e investigadores. No podemos conformarnos con educar futuros profesionales con un nivel de comprensión "ingenuo" o "de principiante". La estrategia de indagación dialógica problematizadora, así como algunas estrategias metacognitivas, como postura intermedia, resultaría una aproximación plausible para ser llevada a cabo de acuerdo con las dimensiones sintáctica y semántica de la disciplina, con la enseñanza para la comprensión y con los avances en la Didáctica de las Ciencias.

Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado parcialmente por SECYT de la Universidad Nacional de Córdoba y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (Proyecto: "Búsqueda de soluciones para un aprendizaje y enseñanza comprensiva de las Ciencias Naturales y la Matemática, en el Ciclo Básico Universitario").

Referencias bibliográficas

Alvermann, D.E., Dillon, D.R. y D.G. D'Brien (1990). *Discutir para comprender. El uso de la discusión en el aula*. Madrid: Visor.

Bermudez, G. y A.L. De Longhi (2006). Propuesta curricular de hipótesis de progresión para conceptos estructurantes de Ecología. *Campo Abierto*, 25, 13-38.

Boix Mansilla, V. y H. Gardner (1999). ¿Cuáles son las cualidades de la comprensión? En M. Stone Wiske (Ed.), *La enseñanza para la comprensión. Vinculación entre la investigación y la práctica* (pp. 215-257). Barcelona: Paidós.

Campanario, J.M. (2002). ¿Qué puede hacer un profesor como tú con una clase tan masificada como ésta?. *Revista de Docencia Universitaria*, 3, 27-42.

Carlino, P. (2005). *Escribir, leer y aprender en la universidad. Una introducción a la alfabetización académica*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.

Chevallard, I. (1991). *La transposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique.

De Longhi, A.L. (2007). Gestión de un proceso de formación docente para ciencias naturales. En De Longhi, A.L. y Echeverriarza, M.P. (Eds.), *Diálogo entre diferentes voces. Un proceso de formación docente en Ciencias Naturales en Córdoba, Argentina* (pp. 11-34). Córdoba: Jorge Sarmiento Editor - Universitas Libros.

De Longhi, A.L. (2000). El discurso del profesor y del alumno: análisis didáctico en clases de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18, 201-216.

De Longhi, A.L. y G.M.A. Bermudez (2010). *Aportes didácticos para la formación de docentes universitarios. La comunicación en el aula*. Córdoba: Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.

De Longhi, A.L. y M.P. Echeverriarza (2007). *Diálogo entre diferentes voces. Un proceso de formación docente en Ciencias Naturales en Córdoba, Argentina*. Córdoba: Jorge Sarmiento Editor - Universitatis Libros. En: <http://www.unesco.org.uy/educacion/fileadmin/templates/educacion/archivos/DialogoEntreDiferentesVoces.pdf>

De Longhi, A.L., Ferreyra, A., Paz, A., Bermudez, G., Solis, M., Vaudagna, E. y M.Cortez (2005). *Estrategias didácticas innovadoras para la enseñanza de las Ciencias Naturales en la Escuela*. Córdoba: Universitatis.

De Longhi, A.L., Ferreyra, A., Iparraguirre, L., Campaner, G., Paz, A. y p. Calatayud (2003). La interacción discursiva y el proceso de enseñanza en Ciencias Experimentales. *Revista Diálogos Pedagógicos*, 2, 56-59.

Duschl, R. (1997). *Renovar la Enseñanza de las Ciencias: Importancia de las teorías y su desarrollo*. Madrid: Narcea.

Ezcurra, A.M. (2005). Diagnóstico preliminar de las dificultades de los alumnos de primer ingreso a la educación superior. *Perfiles Educativos*, 27, 118-133.

Ferreyra, A. (2005). Construyendo las primeras ideas sobre la flotación. La indagación dialógica como motor del aprendizaje. En De Longhi, A.L., Ferreyra, A., Paz, A., Bermudez, G., Solis, M., Vaudagna, E. y Cortez, M. (Eds.), *Estrategias didácticas innovadoras para la enseñanza de las Ciencias Naturales en la Escuela* (pp. 135-173). Córdoba: Universitatis.

Flavell, J.H. (1976). Metacognitive Aspects of Problem Solving. En L.B. Resnick (Ed.), *The Nature of Intelligence* (pp. 231-236). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Galagovsky, L.R. (2005). La enseñanza de la química pre-universitaria: ¿qué enseñar, cómo, cuánto y para quiénes?. *Química Viva*, 4, 8-22.

Galagovsky, L.R., Rodríguez, M.A., Stamati, N. y L.F. Morales (2003). Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de ciencias naturales. Un ejemplo para el aprendizaje del concepto de reacción química a partir del concepto de mezcla. *Enseñanza de las Ciencias*, 21, 107-121.

García García, J.J. y F.J. Perales Palacios (2007). ¿Comprenden los estudiantes las representaciones gráficas cartesianas presentadas en los textos?. *Enseñanza de las Ciencias*, 25, 107-132.

García García, J.J. y F.J. Perales Palacios (2005). ¿Influye la formación académica de los estudiantes en su comprensión de las representaciones gráficas cartesianas?. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, VII Congreso, 1-5.

Gil Pérez, D. y J. Martínez-Torregosa (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5, 447-455.

Gómez Crespo, M.A. (1996). Ideas y dificultades en el aprendizaje de la química. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 7, 37-44.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y P. Baptista Lucio (2006). *Metodología de la Investigación*. 4° Edición. Méjico: Mc. Graw Hill.

Lemke, J. (1997). *Aprender a hablar ciencias*. Barcelona: Paidós.

Moncaleano, R.H. (2007). La enseñanza del concepto de equilibrio químico. Análisis de las dificultades y estrategias para superarlas. *Tesis doctoral. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*. Valencia: Universidad de Valencia.

Moncaleano, H., Furió, C., Hernández, J. y M.L. Calatayud (2003). Comprensión del equilibrio químico y dificultades en su aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, VII Congreso, 111-118.

Not, L. (1983). *Las pedagogías del conocimiento*. Méjico: Fondo de Cultura Económica.

Parolo, M.E., Barbieri, L.M. y R. Chrobak (2004). La metacognición y el mejoramiento de la enseñanza de química universitaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 22, 79-92.

Perkins, D. (1999). ¿Qué significa comprender? En M. Stone Wiske (Ed.), *La enseñanza para la comprensión. Vinculación entre la investigación y la práctica* (pp. 69-94). Barcelona: Paidós.

Pozo, J.I. y M.A. Gómez Crespo (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Ediciones Morata.

Quílez, J. (2006). Análisis de problemas de selectividad de equilibrio químico: errores y dificultades correspondientes a libros de texto, alumnos y profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 24, 219-240.

Quílez, J. (1998a). Dificultades semánticas en el aprendizaje de la química: el principio de Le Chatelier como ejemplo paradigmático. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 17, 105-111.

Quílez, J. (1998b). Persistencia de errores conceptuales relacionados con la incorrecta aplicación del principio de Le Chatelier. *Educación Química*, 9, 367-376.

Quílez Pardo, J. y V. Sanjosé López (1996). El principio de Le Chatelier a través de la historia y su formulación didáctica en la enseñanza del equilibrio químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 14, 381-390.

Quílez Pardo, J. y V. Sanjosé López (1995). Errores conceptuales en el estudio del equilibrio químico: nuevas aportaciones relacionadas con la incorrecta aplicación de Le Chatelier. *Enseñanza de las Ciencias*, 13, 78-80.

Quílez Pardo, J., Solaz Portales, J.J., Castelló Hernández, M. y V. Sanjosé López (1993). La necesidad de un cambio metodológico en la enseñanza del equilibrio químico: limitaciones del principio de Le Chatelier. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 281-288.

Raviolo, A. y M. Martínez Aznar (2003). Una revisión de las concepciones alternativas de los estudiantes en relación con el equilibrio químico. Clasificación y síntesis didácticas. *Educación Química*, 14, 60-66.

Reboiras, M.D. (2006). *Química. La ciencia básica*. Madrid: Thomson.

Rocha, A. y N. Scandroli (2000). Propuesta para la enseñanza del equilibrio químico. *Educación Química*, 11, 343-342.

Royal Society of Chemistry (2001). *Science and the public: learning for the future*. London: Royal Society of Chemistry.

Sánchez, L.P., Martín, A.M., Roble, M.B. y C. Speltini (2006). ¿Cómo explican los estudiantes el equilibrio químico? Actas de las VII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Química, 72-77.

Sinclair, J. y M. Coulthard (1975). *Towards an Analysis of Discourse*. Oxford: Oxford University Press.

Stone Wiske, M. (1999). *La enseñanza para la comprensión. Vinculación entre la investigación y la práctica*. Barcelona: Paidós.

Tovar-Gálvez, J.C. (2008). Modelo metacognitivo como integrador de estrategias de enseñanza y estrategias de aprendizaje de las ciencias, y su relación con las competencias. *Revista Iberoamericana de Educación*, 46/7, 1-9.

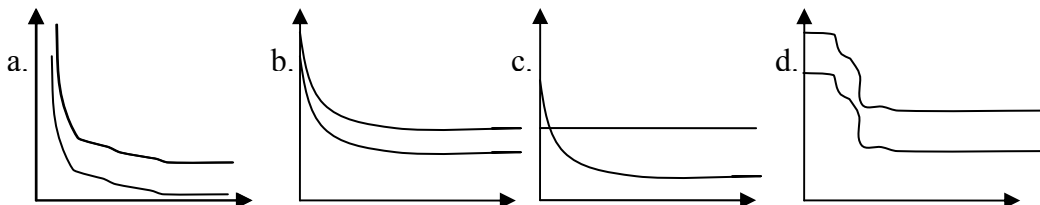
van Driel, J.H. y W. Gräber (2002). The teaching and learning of chemical equilibrium. En Gilbert, J.K., De Jong, O., Justi, R., Treagust, D.F. and van Driel, J.H. (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 271-292). Amsterdam: Kluwer Academic Publishers.

Verdú Carbonell, R., Martínez Torregosa, J. y L. Osuna García (2002). Enseñar y aprender en una estructura problematizada. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 34, 47-55.

Anexo 1: Cuestionario metacognitivo sobre distintas representaciones del Equilibrio Químico de estudiantes universitarios de Ciencias Biológicas

De cada pregunta elige tres opciones, analiza si son correctas o falsas y justifica tu respuesta. Además, en el caso de que sean incorrectas, reescríbelas. Escribe tus respuestas en hoja aparte para poder entregarlas al docente la próxima clase.

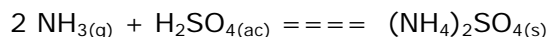
- 1) ¿Qué es el equilibrio químico?
 - a) Toda sustancia que no posee ni excedente ni faltante en su fórmula química.
 - b) Es el momento en que los reactivos son iguales a los productos.
 - c) El equilibrio químico es cuando una reacción está balanceada.
 - d) El equilibrio químico significa un equilibrio entre los productos y los reactivos, donde la constante de equilibrio es igual a 1.
 - e) El equilibrio químico significa que a medida que reactivos reaccionan para formar productos, dichos productos sufren la reacción inversa y obtienen reactivos.
- 2) ¿Para qué me sirve conocer el valor de la constante de equilibrio (K)?
 - a) Conocer el valor de la constante de equilibrio sirve para predecir si una reacción tiene probabilidad de producirse en forma reversible.
 - b) K sirve para averiguar la velocidad de una reacción química.
 - c) Conocer el valor de K sirve para saber en qué momento la reacción va a estar equilibrada.
 - d) K sirve para saber cuáles son las concentraciones de los reactivos que tengo que poner para empezar la reacción.
 - e) Sirve para saber la relación de concentración entre productos y reactivos, y para saber hacia dónde tiende la misma (si favorece a los productos o a los reactivos).
- 3) Otras expresiones sobre la expresión de equilibrio (K):
 - a) Si K es mayor a uno se consume todo el reactivo.
 - b) Cuanto mayores sean las concentraciones de los reactivos mayor será el valor de K.
 - c) Si una reacción se encuentra en equilibrio el valor de $K=1$.
 - d) Los líquidos y sólidos puros no participan de K porque no se consumen.
 - e) Para que una reacción esté en equilibrio los reactivos y los productos tienen que estar en la misma fase.
- 4) Los siguientes gráficos son representaciones de la concentración de un reactivo gaseoso y de un reactivo líquido a lo largo del tiempo:



- 5) ¿Qué sucede al efectuar cambios a un sistema que está en equilibrio?
- Cuando aumento la concentración de un producto, la posición del equilibrio se desplaza hacia los reactivos debido a que la velocidad de la reacción izquierda es mayor que la derecha. Luego se alcanza un nuevo equilibrio.
 - Una reacción con un $K=20$ se realiza mucho más rápido que otra con $K=2$.
 - Si aumento la concentración de un reactivo se formará más producto, y por ende, la K aumenta.
 - Con un aumento de temperatura, K no debería aumentar en una reacción endotérmica porque el producto formado vuelve a generar más reactivo, con lo que la relación producto/reactivo es constante.
 - Si agrego más reactivo (líquido puro) el equilibrio no se desplaza ni cambia K .

Anexo 2: Cuestionario sobre la comprensión del Equilibrio Químico de estudiantes universitarios de Ciencias Biológicas

- Explica con tus palabras lo que significa el equilibrio químico.
- Para la siguiente reacción:



- escriba la ecuación de K_c .
 - Escriba la ecuación de K_p .
 - Para que una reacción dada esté en equilibrio, ¿cuál debería ser el valor de la constante K ? Justifique su respuesta.
 - >1 .
 - $=1$.
 - <1 .
 - $=0$.
 - i, ii, iii y iv son todas opciones falsas.
- ¿Cuál será el efecto del agregado de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(\text{s})$ sobre el equilibrio y el valor de K_c ? Justifique su respuesta.
 - ¿Para qué consideras que sirve conocer el valor de la constante de equilibrio de una reacción determinada?
 - Desde que se inicia la reacción, ¿qué cambios en la concentración experimenta el $\text{NH}_3(\text{g})$? Grafica la molaridad (moles/L) en función del tiempo (segundos).
 - Desde que se inicia la reacción, ¿qué cambios en la concentración experimenta el NH_3 si se encontrara en estado líquido (l)? Grafica la molaridad (moles/L) en función del tiempo (segundos).

Anexo 3: Ejemplo de síntesis de la clase "indagación dialógica problematizadora" realizada por un alumno, revisada por el docente y devuelta para su corrección

Incompleto. ¿Cambios en qué?

Rehacer

• El equilibrio es un estado en el que no se observan cambios en el tiempo transcurrido.

La constante de equilibrio K nos indica hacia donde tiende a desplazarse, si hacia los reactivos o productos.

¿Qué se desplaza? ¿La K , la reacción, la posición?

Si el valor de $K > 1$ producto
 Si $K = 1$ las tendencias van a ser iguales = $\text{prod} = \text{react}$
 Si $K < 1$ react

- A medida que aumenta la concentración aumenta la velocidad.
 - El valor de K es independiente al valor de las concentraciones.

Iniciales...

$$K = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

K = el producto de las concentraciones de los productos elevadas a sus coef. estequiométricos sobre el producto de las concentraciones de los reactivos elevados a sus coef. estequiométricos.
 - La constante de K solo varía con la temperatura.

¿Otros cambios o perturbaciones en la posición del equilibrio?

- Si aumento la presión, todo el sistema va a aumentar su concentración, el equilibrio se va a desplazar hacia donde haya menos cantidad de moles.

$$E_1 = \underbrace{A(g) + 2B(g)}_{3 \text{ moles}} \rightleftharpoons \underbrace{C(g) + 3D(g)}_{4 \text{ moles}}$$

¿En qué estado?

Si aumento la presión se va a desplazar a la izquierda.

¿Gaseosos?

Cuando la cantidad de moles es igual la constante K va a ser constante y no se cambia nada.

¿Con el equilibrio?

Con respecto a la temperatura si $\Delta H < 0$, estamos hablando de una reacción EXOTÉRMICA, si $\Delta H > 0$, estamos hablando de una reacción ENDOTÉRMICA.

¿Qué pasa con el equilibrio y con la K ?

¿Catalizadores?