



Universidad de Santiago de Compostela
Facultad de Ciencias de la Educación
Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales

*Diseño de una propuesta didáctica y su contribución a la enseñanza y
aprendizaje del tema Equilibrio Químico, para alumnos que ingresan en la
Universidad*

TESIS DOCTORAL

Adriana Leticia Rocha
2007

Dr. José Manuel Domínguez Castiñeiras, Profesor Titular de la
Universidad de Santiago de Compostela

Dr. Eugenio García – Rodeja Fernández, Profesor Emérito de la
Universidad de Santiago de Compostela

Hacen constar que el trabajo que se recoge en la Memoria titulada

*Diseño de una propuesta didáctica y su contribución a la enseñanza y
aprendizaje del tema Equilibrio Químico, para alumnos que ingresan en la
Universidad*

fue realizada bajo su dirección por la profesora Adriana Leticia Rocha y que autorizan
la presentación como Tesis Doctoral para la obtención del grado de Doctor por parte
del interesado

Santiago, 3 de setiembre de 2007

Dr. José Manuel Domínguez Castiñeiras

Dr. Eugenio García–Rodeja Fernández

A mis padres, esposo e hijos

Mi gratitud y cariño.

En particular para Paula, Ana Julia y Matías,

y en especial para Héctor,

por su ayuda, ánimo y paciencia

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero reconocimiento a las personas que han colaborado en la realización de este trabajo. Sólo mencionaré aquí a algunas de ellas, pero estoy segura que todas las que no aparezcan por su nombre, se reconocerán en alguna parte de estos párrafos, porque saben lo importante que es para mi haber podido contar siempre, y en particular a lo largo de mi carrera profesional, con personas con las que comparto la pasión por la educación y la convicción de que el gran desafío está siempre en el trabajo en colaboración.

Un especial agradecimiento a mis directores de Tesis. A Eugenio García - Rodeja Fernández, por los invalorable aportes surgidos de su conocimiento y profunda reflexión, sobre la Química y sobre su enseñanza. A José Manuel Domínguez Castiñeiras, por haber compartido conmigo su valiosa experiencia y conocimiento en el campo de la investigación en didáctica de las ciencias experimentales y por su constante apoyo y ánimo.

Al profesor Norberto Scandroli, quien hizo posible el desarrollo de la propuesta en el aula atendiendo a las condiciones y requerimientos del trabajo de investigación, sin perder por ello el agradable clima de trabajo que genera habitualmente entre sus alumnos.

A mis compañeras y amigas del Departamento de Profesorado en Física y Química de la Facultad de Ingeniería de la UNCPBA, por su continuo aliento, su apoyo y la disposición al intercambio de opiniones. En especial a Adriana, mi amiga de siempre, por estar dispuesta a dar todo en cualquier momento. A Cristina, por su generosa colaboración en las tareas docentes y de gestión que compartimos, permitiendo así mi dedicación a la concreción de esta tesis.

A mis compañeros y amigos del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Santiago de Compostela, gracias a quienes inicié el camino de la investigación en enseñanza. Gracias por confiar en mí, por todo lo que me han enseñado y por el cariño que compartimos.

Al Dr. Antonio de Pro por sus sabios consejos y al Dr. Juan Manuel Martínez, por sus constructivas sugerencias.

Mi agradecimiento a los estudiantes de primer año de la carrera Medicina Veterinaria, sin cuya colaboración no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

INTRODUCCIÓN

Esta Memoria de tesis se ha organizado en seis capítulos que se dedican a desarrollar lo realizado en relación con el Diseño de un propuesta didáctica para la introducción del tema Equilibrio Químico.

En el Capítulo 1: Origen y contextualización del trabajo de investigación, se exponen los principales fundamentos del trabajo, relacionados con dos de las inquietudes centrales que lo guían, como son la formación de profesores de ciencias y la enseñanza y el aprendizaje en este campo. Además, se da contexto al mismo en el campo de la Enseñanza de la Química y en el Sistema Educativo Argentino.

En el Capítulo 2 se fundamenta y describe el trabajo realizado en cada una de las etapas de planificación de una propuesta didáctica para la enseñanza del Equilibrio Químico y se presentan las estrategias didácticas que se elaboran a partir de dicho análisis, las cuales están basadas en la filosofía del Proyecto AcAb (García – Rodeja F. y otros, 1987 y 1994).

En el Capítulo 3. Estrategias para la investigación de la propuesta, se hace en primer lugar una descripción del contexto en el que se ha de desarrollar la propuesta didáctica y de los actores involucrados en ello. A continuación se presentan los instrumentos de recogida de la información para el seguimiento de la propuesta como así también, para estudiar lo ocurrido con el aprendizaje de los estudiantes. Al final del capítulo aparecen descritas las estrategias de análisis de la información obtenida.

El Capítulo 4, dedicado especialmente a presentar la discusión de los resultados obtenidos del seguimiento en aula de la propuesta (Objetivo 2), incorpora al inicio, la discusión sobre lo

realizado a partir de la prueba inicial, que permite conocer las ideas de los alumnos sobre conceptos y modelos relacionados con el equilibrio químico.

En el Capítulo 5 se desarrolla el análisis de lo ocurrido con el aprendizaje conceptual, a partir de los resultados obtenidos de entrevistas a diez de los alumnos que participaron de la propuesta.

En el Capítulo 6 se presentan algunas conclusiones que tienen en cuenta, de manera integrada, todo lo presentado en los dos capítulos anteriores. En la segunda parte de este capítulo aparecen las implicaciones para la enseñanza, elaboradas sobre la base de los resultados obtenidos, que incluyen recomendaciones para adecuar el diseño de la propuesta que se espera puedan resultar útiles para los docentes que trabajan el tema en diferentes contextos.

CAPITULO 1

ORIGEN Y CONTEXTUALIZACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El trabajo que aquí se presenta "Diseño de una propuesta didáctica y su contribución a la enseñanza y aprendizaje del tema Equilibrio Químico para alumnos que ingresan en la Universidad" involucra contenidos que resultan centrales en el currículo de Química y conlleva una tarea relevante y de gran atractivo para la que suscribe, como es el diseño de una propuesta didáctica, que implica transferir el conocimiento que resulta de la investigación educativa a la realidad del aula con el objetivo de mejorar la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Es un estudio interpretativo en el que se diseña una propuesta didáctica para la enseñanza del equilibrio químico y se analiza el aprendizaje conceptual de un grupo de estudiantes que participan de su aplicación en aula. Además se extraen conclusiones, basadas en los resultados obtenidos en la investigación, de las que se derivan implicaciones didácticas para su rediseño. Se realiza la intervención con dicha propuesta didáctica en un aula universitaria constituida por un grupo de estudiantes de nivel básico, introductorio a la Universidad. Se espera que esto permita aportar contribuciones a la enseñanza del tema en el nivel educativo en cuestión, como además, para el nivel educativo previo al universitario.

La tarea de diseño de la propuesta se fundamenta en el análisis del contenido desde los puntos de vista científico y didáctico, lo cual permite reconocer las principales características del aprendizaje de esta temática y prever algunas de las dificultades de aprendizaje a las que han de enfrentarse los estudiantes. Este análisis se complementa con el estudio de las conclusiones derivadas de otros trabajos de investigación sobre la enseñanza y el aprendizaje del Equilibrio Químico y con la opinión de algunos profesores de Química básica que ejercen su labor docente en el nivel universitario en Argentina. Se ha organizado este primer capítulo de la tesis en los siguientes apartados:

1.1. *Origen del trabajo:* Se expone el origen de la investigación partiendo de las inquietudes personales de la investigadora y de su experiencia como formadora de profesores, además se amplía y profundiza desde la perspectiva de los numerosos trabajos de investigación que se han ocupado de la enseñanza y el aprendizaje del equilibrio químico.

1.2. *Problema de investigación:* Se plantea el problema que da lugar al trabajo de investigación y se detallan algunas decisiones que se relacionan con la forma en que ha de llevarse adelante la misma.

1.3. *La investigación educativa y su influencia en la práctica docente:* Se describe la relevancia del presente trabajo en el marco general de la Didáctica de las Ciencias y de la Formación de Profesores, mediante una discusión acerca de la necesidad de realizar este tipo de estudios.

1.4. *Postura frente al aprendizaje y la enseñanza:* Se precisan algunos aspectos sobre la perspectiva del aprendizaje en la que se fundamenta este trabajo y de la concepción de enseñanza desde la que se aborda la problemática.

1.5. *Algunas definiciones sobre la perspectiva de ciencia que guía este trabajo:* Se abordan algunas cuestiones epistemológicas que sirven de marco referencial al diseño y desarrollo de la propuesta didáctica.

1.6. *La enseñanza de la Química: encanto y complejidad:* Se discuten las principales características del conocimiento químico y las implicaciones que tienen para la enseñanza.

1.7. *Equilibrio Químico en la enseñanza de la Química*: Se reflejan los aspectos tratados en el apartado anterior en el Equilibrio Químico. En primer lugar se plantea el fuerte atractivo que el tema posee, vinculado a sus características y relevancia en el campo de la Química, para luego presentar una breve discusión acerca de las dificultades que conlleva su enseñanza y su aprendizaje. En la mencionada discusión se consideran las contribuciones de las opiniones de algunos docentes, como también las que surgen de investigaciones previas realizadas en relación con esta temática.

1.8. *El Equilibrio Químico en el sistema educativo argentino*: Se realiza una breve reseña del tratamiento del tema Equilibrio Químico en los textos de Química básica que permite mostrar aspectos interesantes de la forma en la que habitualmente se enseña este tema en el nivel de introducción a la Universidad en Argentina. A continuación, una descripción de la inserción del tópico en el contexto del sistema educativo argentino completa el marco requerido para la interpretación de los aspectos que han de abordarse en este trabajo

1.9. *Objetivos de este trabajo*: Se presentan los objetivos de esta tesis de doctorado.

1.10. *Estructura del trabajo*: A partir de los objetivos se elabora un esquema de la estructura de la Memoria de tesis que se presenta.

1.1 Origen del trabajo

Las principales preocupaciones que impulsaron a la autora de esta tesis a trabajar sobre la problemática de la enseñanza y el aprendizaje del Equilibrio Químico surgen vinculadas a distintos aspectos de su quehacer profesional, en el contexto de reforma en que se encuentra, desde hace más de diez años, la educación en Argentina. Se describen a continuación algunos aspectos relevantes de esta situación.

La reforma educativa del año 1994 supuso una reestructuración de los distintos niveles del sistema educativo argentino y una nueva organización de los contenidos, marcada por la relación entre los diferentes campos del conocimiento y por un mayor énfasis en la introducción de los contenidos del área de las Ciencias Naturales, desde edades tempranas en la formación de los

estudiantes. El diseño curricular base (MCE, 1995, 1997), abierto y flexible, requiere que sean los docentes quienes elaboren el proyecto educativo y curricular de cada institución escolar, lo cual los enfrenta a un nuevo desafío: la tarea de diseño curricular que hasta entonces estaba, casi exclusivamente, en manos de "técnicos" (Rocha, 2000; García de Cajén y otros, 2002). De este modo se evoluciona desde un docente que debía seguir indicaciones curriculares rígidamente marcadas por la legislación, a un docente con competencias para seleccionar contenidos y diseñar su propio proyecto de aula. La responsabilidad del profesor se limitaba a encontrar la mejor estrategia para enseñar. Se requiere hoy un profesional con competencias para saber qué ideas tienen los estudiantes sobre el contenido a aprender, qué obstáculos didácticos se presentan al enseñar, con qué criterios se han de seleccionar los contenidos, entre otras (Bertelle y otros, 2006).

Como formadora de profesores, comprometida con la formación inicial y continua de los docentes de ciencias naturales, la autora de esta tesis ha realizado varios trabajos relacionados con el diseño curricular y la formación docente en ciencias (Rocha, 2000, 2005; Bertelle y otros, 2006) guiada por un interés particular: elaborar directrices y propuestas didácticas que ayuden a los profesores en la compleja empresa de decidir qué y cómo enseñar Ciencias Naturales, en particular Física y Química, en distintos niveles educativos. En especial, el tema Equilibrio Químico, habitualmente no se incluye en la educación secundaria, pero en los documentos base surgidos de la Reforma de 1994, aparece explícitamente en los contenidos básicos comunes. Por ello resulta todavía más interesante y válido trabajar en el diseño del material, fundamentado en resultados de investigaciones y pensado para que pueda ser adaptado al trabajo en la enseñanza secundaria, contexto en el que no existe en Argentina mucha experiencia sobre su enseñanza.

Por otra parte, el desempeño, durante más de diez años, como Profesora responsable de la asignatura Didáctica de la Química en el Profesorado en Física y Química de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, resulta una experiencia de sumo valor para el conocimiento de las dificultades de comprensión conceptual de algunos temas con que se encuentran aún los estudiantes avanzados de carreras universitarias con fuerte formación en Química, como son los alumnos del profesorado antes mencionado. Se incluye, a continuación,

una breve reseña del citado ámbito de formación de profesores para un mejor entendimiento de la situación que se describe.

El plan de estudios de la carrera de *Profesorado en Física y Química* tiene una duración de cuatro años, durante los cuales las asignaturas de formación básica y las de formación específica en la disciplina se van desarrollando paralelamente a las disciplinas de la formación docente, entre las que se incluyen dos didácticas específicas -Didáctica de la Física y Didáctica de la Química- que se cursan en el segundo cuatrimestre del tercer año de la formación. Por su ubicación en el plan y desde una visión que las concibe como la piedra angular en la formación del profesor, las didácticas específicas tienen un papel integrador del saber y saber hacer en la formación docente de grado que se consigue con un trabajo articulado y en colaboración con las demás asignaturas de la carrera, existiendo una estrecha vinculación con el Seminario de Práctica y la Residencia de cuarto año del plan. En estas asignaturas, se elaboran las unidades didácticas que luego serán desarrolladas en el aula, durante la Residencia. En esta instancia, se realiza la puesta en aula, en diferentes instituciones educativas, de los proyectos didácticos elaborados. Cada residente es acompañado por algún docente de la asignatura y por sus pares, quienes observan su actuación. Se profundiza aquí, con los estudiantes de Profesorado, el trabajo sobre el perfil del egresado y se inicia el camino hacia la formación continua.

Cuando los futuros profesores llegan a Didáctica de la Química, han adquirido ya una importante formación en Física y Química, obtenida en las asignaturas específicas correspondientes. Una de las situaciones habituales a esta altura de la carrera es que los alumnos se encuentren con muchos temas, entre ellos el de Equilibrio Químico, que han estudiado profundamente, pero que, a la hora de pensar cómo explicarlo a otros conceptualmente, o cuál es su utilidad para resolver situaciones vinculadas a la vida cotidiana, enfrentan con el desafío de reelaborar ese conocimiento, con no pocas dificultades y dudas.

A propósito de esta situación, es interesante comentar una sencilla experiencia que se ha realizado con todos los alumnos que han pasado por la asignatura Didáctica de la Química en los últimos diez años. En algún momento durante las primeras clases del curso se les ha propuesto un ejercicio, relacionado con el tema Equilibrio Químico, que deben resolver. La

consigna de la tarea es leer el enunciado del ejercicio que se les presenta (ver recuadro) sólo una vez y proceder a su resolución.

3 gramos de pentacloruro de fósforo (vapor) se calientan en un recipiente de un litro, a 300 °C. El grado de disociación, de acuerdo a la ecuación $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$ es 0.3. ¿Cuál es la densidad de la mezcla en equilibrio? (P: 31.0, Cl: 35.5).

(Selvaratnam, 1974)

Todos los estudiantes han procedido de la misma manera. Han intentado resolverlo utilizando la expresión de la constante de equilibrio sin prestar atención a la situación que se plantea, en la cual, una masa de dos gramos (3 g) de un sistema gaseoso (mezcla en equilibrio) está contenido en un recipiente cerrado de un litro (1L), a temperatura constante, por lo que el cálculo de la densidad resulta directamente del cociente 3g/1L. Selvaratnam propuso el problema a 500 estudiantes de Química universitarios y encontró que el 75% de ellos no lo resuelve correctamente. Propone que ello podría atribuirse a que no realizan un análisis del problema, sino que utilizan directamente la ecuación química y resuelven de manera algorítmica.

Parecería que, ante un enunciado en el que se presenta un sistema de equilibrio químico y se da como dato el grado de disociación a determinada temperatura, plantean inmediatamente la constante y proceden a resolver, de una forma similar a la que lo hacen todos los textos de química básica que tratan la introducción al tema Equilibrio Químico. Los alumnos no utilizan el conocimiento conceptual involucrado para decidir cómo resolver sencillamente el ejercicio planteado; no porque no dispongan de él, sino probablemente, porque la formación adquirida está demasiado condicionada por la manera en la que un determinado tema se enseña y se evalúa.

También es frecuente que se asuma que ser capaz de resolver problemas en un tema determinado, es indicativo de que se posee el concepto químico. Sin embargo, existen estudios realizados sobre temas químicos, que muestran que existe poca vinculación entre la resolución eficaz de problemas de tipo algorítmica y la comprensión conceptual en un determinado tema (Nuremberg y Pickering, 1987; Nakhleh y Mitchell, 1993).

Todo lo comentado anteriormente, entre otras cuestiones, ha llevado a que la autora de esta tesis, ya desde el inicio de su incursión en la Investigación en Enseñanza de las Ciencias, haya sentido preocupación en relación con problemáticas tales como:

- ¿Cómo se logra una mejor comprensión conceptual de los temas centrales de la Química?
- ¿Cómo elaborar un material didáctico útil para los profesores de Química?

Estas cuestiones, enfocadas en particular en el tema Equilibrio Químico son las que intentan contestarse en parte, con este trabajo. Sin desconocer que hay otras que, si bien no se responden a partir de lo realizado aquí, continúan siendo la base sobre la cual se piensa el desarrollo de ésta y de otras investigaciones futuras.

- ¿Qué origen tienen las principales dificultades que poseen los alumnos para el aprendizaje del equilibrio químico?
- ¿Cómo debería pensarse la enseñanza integrada del tema Equilibrio Químico y de los conocimientos vinculados a él, en los niveles previos a la Universidad?

Muchas de estas y otras preguntas semejantes han sido y son objeto de estudio en la comunidad de investigadores en Didáctica de las Ciencias. En particular en lo que se refiere a Equilibrio Químico, el interés se refleja en la amplia y variada literatura científica sobre interpretaciones alternativas detectadas en el aprendizaje del tema. Incluso hay recientes recopilaciones (Raviolo y Martínez A., 2003) que agrupan los trabajos realizados. Entre los resultados de dichas investigaciones se aprecian importantes coincidencias en las concepciones alternativas y en las dificultades de enseñanza y de aprendizaje del equilibrio químico, aún trabajando en contextos muy diferentes. Las apreciaciones coincidentes acerca del origen de muchas de las dificultades de aprendizaje en el tema, tendrían relación con:

- La experiencia que los alumnos poseen en el trabajo con reacciones químicas “irreversibles”.
- La importancia dada (en clase y en los libros de texto) a los cálculos estequiométricos, que ponen énfasis en los coeficientes de la ecuación química (Hackling y Garnett, 1985);
- La utilización de analogías para explicar el equilibrio dinámico por parte de los docentes y de los libros de texto (Maskill y Cachapuz, 1989).

También se dispone de una interesante variedad de trabajos en los que aparecen recomendaciones para la enseñanza de este tema. El trabajo de revisión de Raviolo y Martínez

(2003) recopila algunas recomendaciones de diversos autores que se dedican a estudiar las dificultades de aprendizaje y las concepciones alternativas de los estudiantes. Pero son pocos los trabajos en los que se hace un seguimiento y análisis del aprendizaje que realizan los alumnos cuando participan de una propuesta didáctica para la enseñanza del Equilibrio Químico. Uno de ellos, el de van Driel y colaboradores (1998), basado en una postura de cambio conceptual, hace un análisis del tipo de razonamiento que utilizan los estudiantes cuando, por la introducción del equilibrio químico, cambian sus concepciones de reacción química. El trabajo se realiza en tres ciclos de investigación, lo cual reporta la existencia de gran cantidad de datos correspondientes a un número muy importante de alumnos de diferentes cursos y escuelas, en las que se llevó a cabo la intervención. Otro de los trabajos en el mismo sentido es el de Tyson, Treagust y Bucat (1999). Se trata de un estudio de caso durante el cual se realizan observaciones diarias de las clases y entrevistas para identificar los puntos que impiden la comprensión del concepto de equilibrio químico. Los resultados de estos trabajos son un importante aporte para el desarrollo de la presente investigación.

En relación con ésta y otras temáticas centrales del ámbito de la Enseñanza de las Ciencias, trabaja desde hace quince años el Grupo de Investigación en Didáctica de las Ciencias (GIDCE) en el que participa la autora de esta tesis. Dicho grupo se inicia en el Departamento de Profesorado en Física y Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires en el año 1993, con el apoyo de profesores investigadores de la Universidad de Santiago de Compostela. Eugenio y Francisco, y más tarde, José Manuel, Joaquín, Marylar y Antonio se involucraron en un trabajo conjunto entre el Departamento de Profesorado en Física y Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Centro (Argentina) y el Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Santiago de Compostela. Ello se constituyó en un acompañamiento estratégico, realizado por parte del grupo de investigación de la USC, a la iniciación en investigación de los profesores responsables de las didácticas específicas del grupo de Argentina. Las actividades conjuntas lograron un fuerte impacto en la formación en Didáctica de Ciencias, coincidentemente con tiempos de reforma educativa que demandan cambios profundos y de fundamento, en la enseñanza de las ciencias. Los trabajos realizados hasta el momento con docentes de ciencias en el marco del GIDCE se han dirigido a indagar en la problemática de la vinculación entre el diseño curricular y la formación de los docentes en ciencias, mostrando la existencia de un campo en el que hay mucho

por realizar, a la vez que existe una gran predisposición y expectativa, por parte de los docentes, en participar de este tipo de trabajos, asociada a la necesidad de que los resultados contribuyan a mejorar la actividad que realizan. Otra inquietud vinculada con la situación de los docentes y la enseñanza de las ciencias, es la manera en que presentan los temas los libros de texto, dado que se considera que constituyen la fuente habitual de consulta y estudio de que disponen los alumnos y sus docentes. Si bien la problemática de los libros de texto no ha sido abordada por la investigadora, en el Apartado 1.6.3, se hace una reseña del contenido de algunos textos de Química básica universitaria, sobre la presentación que hacen, del tema Equilibrio Químico.

El conocimiento del Proyecto AcAb (García Rodeja y otros, 1987; 1994) llevó a pensar concretamente en alternativas de materiales y estrategias para el trabajo del Equilibrio Químico, basados en la filosofía del citado Proyecto. Algunos avances en este sentido, están plasmados en un trabajo previo con alumnos de un curso básico de Ciencias a nivel universitario, también de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (Argentina) que no habían tenido hasta el momento instrucción en el tema (Rocha y otros, 2000).

1.2 Problema de investigación

La naturaleza multidimensional y compleja de los estudios en investigación educativa en ciencias requiere definir, lo más claramente posible, los aspectos del problema que se han de estudiar y aquellos que se deciden excluir. Esto es, resulta imprescindible determinar el alcance del estudio que se pretende llevar adelante, tanto desde el punto de vista de la metodología de la investigación como desde la perspectiva de la enseñanza y el aprendizaje.

La construcción de conocimientos por los estudiantes, en el marco de una determinada propuesta, se da en una "situación" en la que se articulan los objetivos de aprendizaje, las tramas de contenidos a enseñar que se han elaborado, la información que se consigue acerca de las concepciones de los alumnos, las actividades que se proponen y la forma de evaluar que se programe. Todo ello configura la situación de aprendizaje compleja y multidimensional que se ha de analizar a la hora de decidir su relación con el aprendizaje.

Si bien el aprendizaje en ciencias implica adquisición de conceptos, procedimientos y actitudes de una manera integrada, el presente estudio apunta a poner de relieve lo que ocurre con el aprendizaje conceptual. En los apartados siguientes de este capítulo se intenta justificar esta decisión, mostrando que, en relación con el aprendizaje del tema, podría pensarse que muchas dificultades tienen que ver con que los alumnos no han interpretado conceptualmente el equilibrio químico. En esta conclusión se basan nuestras decisiones a la hora de centrar la atención en la dimensión conceptual dada a la propuesta didáctica y a esta investigación en general.

Una investigación didáctica no ha de limitarse exclusivamente al estudio de las condiciones iniciales y finales de la misma, el seguimiento de la intervención en el aula permite obtener datos relevantes para explorar la evolución misma del conocimiento. En este caso, los datos se analizan con el objeto de conocer en qué medida se ajusta la intervención a lo que se ha diseñado y en detectar los puntos de la intervención que puedan tener relación con los aspectos relevantes del aprendizaje.

Cuando en este trabajo se plantea que se pretende estudiar la relación existente entre el aprendizaje de los alumnos y una forma determinada de enseñar, en este caso, Equilibrio Químico, se hace con el convencimiento de que las variaciones en el aprendizaje que se producen cuando se realizan cambios en la enseñanza, no puede considerarse simplemente una relación causa – efecto (Fenstermacher, 1989). Si se concibe al que aprende como responsable último del hecho de aprender y se tiene en cuenta, desde esta perspectiva de análisis, que la intencionalidad del comportamiento humano es uno de los rasgos distintivos de la investigación educativa, ello requiere adoptar una perspectiva de investigación cualitativa que tenga en cuenta esta situación y analice integradamente lo que ocurre con el aprendizaje, en la situación real en que se desarrolla la investigación.

El problema objeto de estudio de la presente tesis doctoral es entonces ¿el trabajo en el aula con la propuesta didáctica especialmente diseñada sobre equilibrio químico, potencia el aprendizaje conceptual del tema?, ¿permite el desarrollo de estructuras conceptuales útiles para la interpretación del comportamiento de los sistemas en equilibrio que sean la base para superar las dificultades conceptuales que se sabe que existen en el aprendizaje de este tema?

1.3 La investigación educativa y su influencia en la práctica docente

La verdadera problemática de la investigación en Didáctica de las Ciencias continúa siendo hoy la repercusión que tiene en el trabajo diario del profesor y en la mejora del aprendizaje de los estudiantes (Yager y Kahle, 1982; Gilbert y otros, 2002; Oliva, 2005). En dicha área de conocimiento se está prestando especial atención a impulsar una mayor y más eficiente relación entre la investigación y la práctica educativa en lo que a enseñanza de las ciencias se refiere, dado que la transferencia de los resultados de las investigaciones a la práctica educativa, es muy escasa.

La investigación sobre una propuesta metodológica tiene sentido si es posible, a partir de ella, elaborar conclusiones que puedan resultar útiles para pensar alternativas aplicables en otros contextos. Como ya se mencionó, en lo que a Equilibrio Químico se refiere, aparecen en la literatura muchos estudios sobre dificultades conceptuales de estudiantes y docentes (que se discuten más adelante en este mismo capítulo), como también un importante número de trabajos que presentan diferentes maneras de abordar su enseñanza. Sin embargo, en varios de los casos, su efectividad en el aula no ha sido comprobada. Una de las propuestas (van Driel y otros, 1998) estudia cómo razonan los alumnos cuando se enfrentan por primera vez al aprendizaje del concepto de equilibrio químico, en el marco de una estrategia de enseñanza elaborada a partir de los resultados de un estudio piloto y que se sustenta en una postura de cambio conceptual. El estudio se realizó en Holanda con alumnos de 15 – 16 años, quienes previamente habían estudiado los conceptos de reacción química, sustancia y elemento, tratándolos a nivel macroscópico y microscópico. Algunos de los principales resultados que surgen de la citada investigación se discuten más adelante en diferentes secciones de este trabajo.

Otro estudio interesante de señalar, utiliza los resultados existentes de las numerosas investigaciones en relación con la enseñanza y el aprendizaje de esta temática, para diseñar módulos de enseñanza del Equilibrio Químico con el objeto de trabajar con docentes de ciencias que realizan un curso de formación. Se trabaja el tema Equilibrio Químico a la vez que se aborda la problemática de su enseñanza con docentes de ciencias entre los que hay un grupo de docentes de física y química y otro de biología (Banerjee, 1991). Los resultados, obtenidos a partir de pruebas escritas realizadas antes y después de la instrucción muestran un importante

desarrollo del conocimiento y la interpretación del tema para ambos grupos, como también, de la capacidad de resolución de problemas. Además se pone de manifiesto una considerable reducción de algunas de las concepciones alternativas más frecuentes vinculadas con la predicción de las condiciones de equilibrio y con la relación velocidad – equilibrio químico. No obstante, un número elevado de docentes (30%) muestra concepciones alternativas aún después de la instrucción. Trabajos como éste permiten reflexionar acerca de la importancia de abordar la enseñanza y el aprendizaje sobre este tema y constituyen tentativas concretas de acercar los resultados de la investigación en enseñanza de las ciencias a las aulas de ciencias, a través de la formación de los docentes.

Un aspecto central en una investigación como la que se presenta en esta memoria de tesis doctoral, es la elección de los instrumentos de toma de datos. Porlán (1987) encuentra, entre los trabajos que investigan propuestas en el aula, gran diversidad de estrategias: diarios de clase, entrevistas (estructuradas y semiestructuradas), cuestionarios, protocolos de análisis de tareas, observadores externos, procesos de triangulación. Si bien no existe la estrategia ideal para la investigación de propuestas metodológicas en el aula, es importante que haya coherencia entre la intencionalidad de la experiencia y los esfuerzos realizados para obtener la información. Esto es, dado que lo que se quiere investigar es qué ocurre con el aprendizaje conceptual cuando se desarrolla una propuesta de enseñanza, es necesario obtener datos tanto de la comprensión conceptual de los alumnos en el tema, como también disponer de datos acerca de lo ocurrido en clase, siempre teniendo en cuenta que la toma de información no debería entorpecer la concreción del objetivo principal de la acción educativa: que el alumno aprenda (Domínguez, 2000).

1.4 Postura frente al aprendizaje y la enseñanza

Una breve reseña de algunos aspectos generales de la postura frente a la enseñanza y el aprendizaje que subyace al presente trabajo servirá para dejar planteadas las que se consideran características fundamentales en tal sentido. Actualmente existe un acuerdo generalizado de la comunidad científica en el campo de la Didáctica de las Ciencias en cuanto al aspecto constructivista del aprendizaje. El término constructivismo, aplicado a definir una forma en que se produce el aprendizaje, considera a los individuos como constructores activos del conocimiento

(Kelly 1955; Piaget, 1978). Cuando se habla en este trabajo de aprendizaje, se está pensando en la idea de aprendizaje significativo, entendido éste como un supraconcepto (Moreira, 1997) que subyace a la construcción del conocimiento humano y lo hace integrando positivamente pensamientos, sentimientos y acciones (Novak, 1988). Es el concepto central de la Teoría de Ausubel (1983) la cual, además de ser una teoría de aprendizaje, da directrices precisas que permiten decidir cómo implementar el trabajo de aula, que requiere atender tanto al contenido en cuestión como a la estructura cognitiva del que aprende.

Desde esta perspectiva, el conocimiento no se transmite sin más, sino que se necesita el papel protagonista del que aprende. Si se acepta que los estudiantes hacen sus propias interpretaciones de la información recibida a través de sus sentidos, lo que aprenden no depende sólo de las características del medio de aprendizaje (un libro, un fenómeno físico,...), sino también, fundamentalmente, de las estructuras de conocimiento que tienen, de las estrategias cognoscitivas disponibles y de sus propios intereses y propósitos (Novak, 2002). En tal sentido, la estructura cognitiva de los estudiantes actúa como el marco teórico referencial que condiciona el posterior aprendizaje (componente cognitiva del aprendizaje); en tanto que la interacción con el docente y sus pares, son necesarios para que se produzca el aprendizaje en el aula, entendiendo que toda situación de enseñanza implica compartir significados. Se adopta esta postura frente al aprendizaje y la enseñanza, puesto que se la considera adecuada para un estudio de las características del que se lleva adelante en el presente trabajo, con énfasis en el aprendizaje conceptual.

La estructura cognitiva incluye todos los conocimientos que posee un individuo, que se encuentran estructurados y organizados jerárquicamente en su mente. Los conocimientos son una serie de conceptos, ideas, proposiciones y símbolos, a los cuales el individuo les ha dado un significado tal que le sirven para actuar en el medio que lo rodea y poder interpretarlo. La organización jerárquica es tal que, ideas, proposiciones, conceptos más generales, incluyen a otros más específicos, diferenciados pero relacionados. Se aprende a través de conceptos que se van integrando en una estructura jerárquica y ese aprendizaje resulta significativo sólo cuando es posible relacionar "lo nuevo" con conceptos estables y bien diferenciados preexistentes en la mencionada estructura (Ausubel, 1983). La estructura cognitiva del estudiante juega un papel fundamental en el proceso de aprendizaje ya que la nueva información se relaciona con ella,

pero de manera no arbitraria y substancial. Esto es, cuando se lleva a cabo el aprendizaje, las nuevas ideas, conceptos y proposiciones, se relacionan con las que ya posee el individuo, pero no con cualquiera, sino con aquellas que ya poseen un significado y son claras para él. A esto se refiere la relación no arbitraria.

Por otro lado, cuando se aprende significativamente, no se aprenden una serie de palabras precisas con el objetivo de ser usadas para expresar un concepto o una idea, sino que se incorpora a la estructura cognitiva sus significados; esto es, se da una relación substancial de la nueva información con la que el individuo ya posee. Según Ausubel (1983) se aprende, fundamentalmente, por sucesivas diferenciaciones progresivas y reconciliaciones integradoras de los conceptos. Si bien éste es uno de los aspectos más cuestionados de la Teoría del Aprendizaje Significativo resulta interesante analizarlo porque da idea de la complejidad que tiene un aprendizaje de este tipo, que conduce a la comprensión de la información a diferencia de un aprendizaje en el que sólo se busca adquirir información.

El significado de un concepto está integrado por todas las proposiciones que vinculan a este concepto con otros y de las connotaciones asociadas con estos conceptos, derivadas de las experiencias y del contexto de aprendizaje en relación con los cuales fueron adquiridos (Figura 1.1).

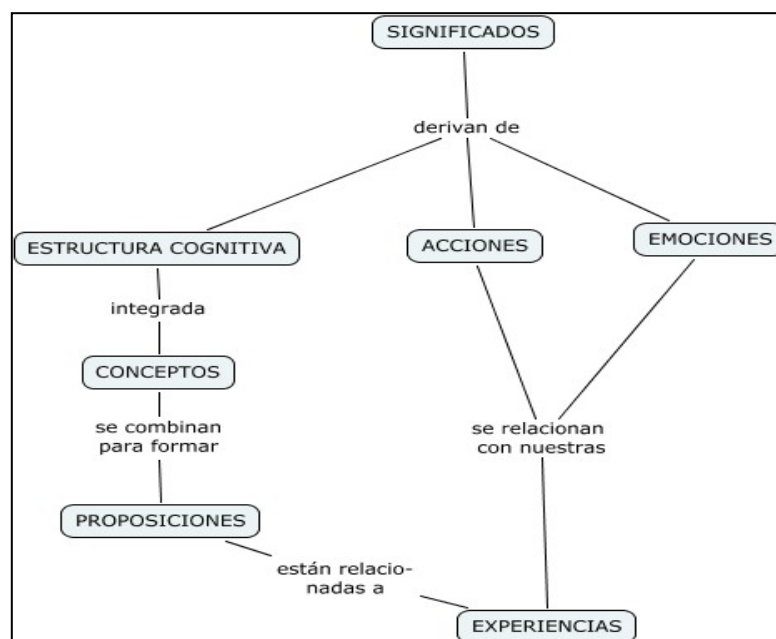


Figura 1.1. *Cómo se adquieren significados (adaptado de Novak, 1998).*

Un concepto que el alumno posee se modifica constantemente, adquiere un significado más preciso y en ese sentido se va diferenciando de otros con los que hasta ese momento permanecía indiferenciado. A ese proceso que forma parte del Aprendizaje Significativo se lo denomina diferenciación progresiva. A causa de sucesivas diferenciaciones de un concepto, puede ocurrir que se perciba una cierta regularidad entre él y otros, o que se reconcilie bajo un mismo principio conceptual con diversas situaciones que antes se concebían por separado. El proceso antes descrito, la reconciliación integradora, ocurre con modificación de las relaciones entre conceptos y cambio de la organización jerárquica preexistente. En relación con lo anterior, entender un concepto no implica un estado dicotómico en el sentido de que se entiende o no se entiende, sino un continuo. La riqueza del significado de un concepto crece con el número de relaciones válidas elaboradas que involucran al concepto.

Por ejemplo, una persona le ha otorgado un significado a "oxidación" que le permite incluir en ella la oxidación de hierro expuesto al aire y una combustión. Dentro de la idea de oxidación, el sujeto es capaz de encontrar similitudes pero también diferencias entre las reacciones lo que le permite discriminar entre una y otra. Pero avanzar en la elaboración de la concepción de oxidación desde el punto de vista de la Química, le requerirá incluir además otros ejemplos de reacciones en las que no necesariamente una de las sustancias presentes es el oxígeno. La organización conceptual en relación con este tema deberá cambiar necesariamente, para llegar a incluir entre las reacciones de oxidación (reducción) no sólo las de formación de óxidos, sino todas aquellas en las que exista una modificación del estado de oxidación de los elementos que constituyen las sustancias involucradas.

Desde una visión constructivista como ésta, resulta de gran importancia entonces, como ya se ha dicho, el conocimiento que poseen los alumnos, derivado de sus experiencias previas en la vida cotidiana, como así también de los conceptos considerados fundamentales para el aprendizaje en ese campo, que hayan desarrollado e integrado a sus estructuras de conocimiento.

Para facilitar el aprendizaje significativo es necesario atender al contenido y a la estructura cognitiva. Buscar la mejor manera de relacionar explícitamente los aspectos más importantes del contenido con aquellos relevantes en la estructura cognitiva del alumno, requiere prestar

especial atención a los conceptos que pueden servir de anclaje del nuevo conocimiento y a cómo conseguir que resulten relevantes para el alumno. Es indispensable que el alumno posea conceptos claros, estables y específicamente relevantes en su estructura cognitiva, que le permitan dar significado al nuevo material de aprendizaje, pero además debe poder percibir su relación con el nuevo conocimiento.

Se desprende de lo anterior que es necesario realizar un análisis conceptual del contenido para identificar conceptos, ideas y procedimientos sobre los cuales concentrar la enseñanza (Moreira, 1997). Pero el análisis de lo que ha de enseñarse debe hacerse siempre pensando en el alumno, esto es, la buena organización del contenido debe resultar además, psicológicamente factible de ser aprendida. Ello implica seleccionar, del contenido a enseñar, los conceptos y proposiciones de mayor poder explicativo, inclusividad, generalidad y relacionabilidad y atender a los procesos de diferenciación progresiva y reconciliación integradora, a la hora de pensar la secuencia en que ha de tratarse el contenido y las actividades de aprendizaje.

En consecuencia, la enseñanza debería:

- Prestar especial cuidado a la interacción entre la estructura conceptual del alumno y el material de aprendizaje para que la incorporación de la nueva información resulte no arbitraria. En un material educativo, los contenidos además de una buena organización lógica disciplinar han de ser psicológicamente adecuados para nuestros alumnos. Se deben tener en cuenta los aspectos específicamente relevantes de la estructura cognitiva del alumno y buscar la mejor manera de que los relacione con el contenido del material de aprendizaje.
- Organizar la secuencia en que se ha de presentar el contenido teniendo en cuenta que el aprendizaje es más efectivo cuando la información que ha de ser aprendida se presenta de lo general a lo específico, y los conceptos se van diferenciando progresivamente en la medida que se amplía su significado en términos de detalle y especificidad.
- Facilitar la reconciliación integradora. Explorar las relaciones existentes entre las ideas y llamar la atención sobre las diferencias y similitudes relevantes. Propiciar secuencias de actividades que incluyan la posibilidad de trabajo integrando los significados de ideas que antes se creían no relacionadas.
- Facilitar la transferencia de lo aprendido al análisis de otras situaciones similares.

La perspectiva de aprendizaje como la que se plantea, implica un alumno activo en la construcción del conocimiento, cuyas ideas deben ser necesariamente tenidas en cuenta a la hora de planificar la enseñanza. También requiere del propio alumno una actitud crítica hacia lo que sabe y una interacción personal intensa con el docente que le permita a éste conocer en cada momento los significados que están elaborando sus alumnos. Se hace necesario entonces pensar una enseñanza basada en materiales de aprendizaje que resulten potencialmente significativos y organizada teniendo en cuenta los principales procesos por los que se aprende. Es necesario aclarar aquí que, en la vida cotidiana de aula, se conciben los posibles aprendizajes en que se implican los estudiantes, como un continuo entre el aprendizaje significativo y el memorístico (Figura 1.2).

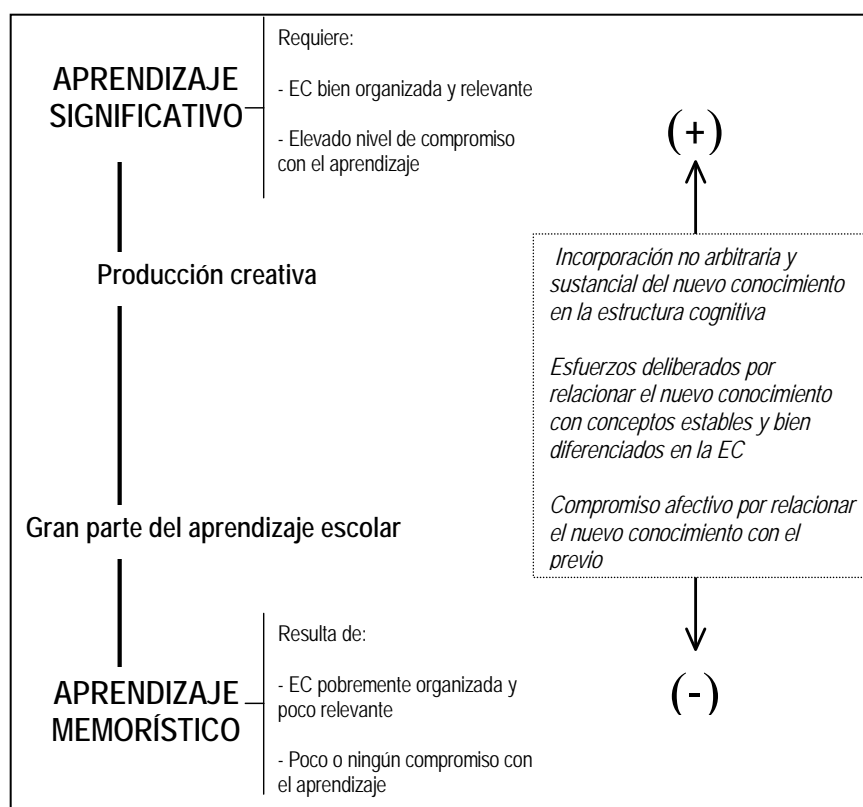


Figura 1.2. Continuo del aprendizaje (adaptado de Novak, 1988)

En la interacción entre los materiales de aprendizaje y los conocimientos previos del estudiante sería de esperar que la nueva información sea incorporada a la estructura de conocimiento y que la modifique. Muchas veces ello no ocurre, los conocimientos previos permanecen inalterados. La resistencia a modificarse de algunas ideas previas ha sido ampliamente estudiada en el

campo de las ciencias naturales, en el cual también se ha trabajado para elaborar interpretaciones acerca del origen de estas ideas, en cuanto concepciones alternativas a la científica, entre otras cuestiones. Los principales resultados obtenidos dentro de lo que se ha dado en llamar el movimiento de las concepciones alternativas en el campo de la investigación en Didáctica de las Ciencias, recopilados durante más de una década de trabajo, pueden sintetizarse en los puntos citados a continuación (Wandersee, Mintzes y Novak, 1994):

- Los alumnos llegan a la instrucción formal en ciencias con un conjunto de concepciones alternativas en relación con los objetos y eventos naturales
- Las concepciones alternativas que tienen los alumnos se repiten en diferentes edades, sexo y entorno cultural
- Las concepciones alternativas resultan frecuentemente explicaciones paralelas a las ofrecidas a los mismos fenómenos por generaciones previas de filósofos y científicos
- Las concepciones alternativas tienen diversos orígenes: experiencia personal por percepción directa (concepciones espontáneas) o en relación con la cultura, el lenguaje, la enseñanza (concepciones inducidas).
- Los docentes tienen frecuentemente las mismas concepciones alternativas que los alumnos
- El conocimiento previo de los alumnos interacciona con el presentado en la instrucción formal, dando como resultado una importante diversidad de aprendizajes no esperados

Hay muchos estudios que muestran que el número y variedad de concepciones alternativas en temas científicos es muy importante, aún en estudiantes universitarios. Facilitar la adquisición por parte de los estudiantes de estructuras conceptuales válidas y poderosas es una tarea ardua, teniendo en cuenta que la construcción de significados es idiosincrásica e involucra, además de las estructuras conceptuales de los estudiantes, sus diversos modos de aprender y su predisposición emocional (Novak, 2002).

En Química en particular, existen, en la mayoría de los tópicos, numerosos trabajos que analizan las ideas alternativas de los alumnos y sus características. Muchas de estas ideas pueden considerarse inducidas, esto es, adquiridas a través de la enseñanza y de los medios de comunicación, dado que en esta área del conocimiento los conceptos con que se trabaja poseen un alto nivel de abstracción (Gómez Crespo, 1996).

Novak (2002) propone interpretar esta situación de la existencia y persistencia de las ideas alternativas, en términos de LIPH (Limited or Inappropriate Propositional Hierarchies), esto es, estructuras conceptuales limitadas o inadecuadas que poseen los estudiantes, que son las responsables de estas ideas alternativas. Modificar esas estructuras requiere que el individuo elija aprender significativamente y reconstruya una parte importante de ellas, de manera consciente y deliberada, pero necesariamente implica también el reconocimiento por parte del alumno de que se trata de estructuras inadecuadas. Esto no ocurre fácilmente, aún realizando importantes y fundamentados esfuerzos en la instrucción. La realidad educativa muestra que muchas veces los alumnos recurren a una forma de aprendizaje repetitiva, memorística, resultado de la cual la nueva información no se integra en la estructura existente y por tanto, las concepciones alternativas que el alumno posee no influyen. En tal caso, el alumno puede responder a preguntas sobre el tema de manera correcta, pero no habrá ocurrido transformación de la estructura, el nuevo conocimiento se olvidará rápidamente y no podrá transferirse o aplicarse en otros contextos.

1.5 Definiciones sobre la perspectiva de ciencia que guía este trabajo

Consideramos necesario hacer una descripción de lo que se entiende por ciencia y por conocimiento científico para luego aplicarlo al diseño de la propuesta didáctica. Entre las perspectivas actuales más relevantes, consensuadas en el campo de la Didáctica de las Ciencias, acerca de qué es la ciencia y cuál es la naturaleza del conocimiento científico, se puede destacar la importancia fundamental que se concede al papel que juegan las teorías, verdaderas piedras angulares de la ciencia, que representan las formas contrastadas de razonar sobre el mundo que nos rodea y son una síntesis de los objetivos y métodos de la Ciencia (Duschl, 1997). Ellas guían la observación.

La práctica científica es una actividad compleja socialmente construida (Latour, 1992; Hodson, 1994) y la resolución de problemas está en la base de la actividad científica (de Pro, 2003).

Las cuatro dimensiones que se expresan a continuación podrían considerarse características de la visión actualmente vigente en el campo de la Didáctica de las Ciencias acerca de la idea de Ciencia (Sanmartí, 2002, pp.47).

- Lo que hace que la ciencia tenga sentido es su objetivo y no su método.
- No hay un único método para construir conocimiento científico, tampoco es posible separar los marcos conceptual y procedimental al hacer ciencia. No tiene sentido hacer una división entre teoría y práctica.
- Pensar la realidad en términos teóricos, no se contrapone con pensarla en términos realistas. Los hechos sobre los que se trabaja en ciencia son hechos científicos, esto es, vistos desde una teoría, y al igual que los procedimientos e instrumentos usados en la experimentación, se conciben en términos de representaciones.
- No se puede saber si una teoría es verdadera.

Para Giere, una teoría no es universal, tampoco es verdadera o falsa, explica cómo los científicos (cuando hacen ciencia) usan sus capacidades cognitivas para interactuar con el mundo. El razonamiento científico es un proceso de toma de decisiones, más que un proceso de inferencia (Jiménez A., 1996, pp.45). Las teorías científicas representan las formas contrastadas de razonar sobre el mundo que nos rodea e integran los hechos, objetivos, conceptos y métodos de la Ciencia. La consecuencia más inmediata de ello es que éstas, como conocimiento integrado, dirigen las estrategias y constituyen la base del razonamiento justificativo; y ambos son necesarios para una mejor comprensión, desde el punto de vista de la ciencia, de los acontecimientos que nos rodean. El núcleo de una teoría científica son los modelos, entidades que se generan para dar respuesta a una forma de mirar la realidad y que resultan útiles para representar una porción del mundo, como los mapas de un territorio, para viajar por él. Un mapa se refiere a la realidad, ha sido elaborado tratando de representarla, pero no es la realidad (Giere, 1999). Driver y Newton (1997) argumentan de modo semejante al indicar que, el conocimiento que tenemos acerca del mundo natural, es una construcción que elaboramos. Destacan la importancia de tener presente la distinción existente entonces entre el mundo natural, como una realidad asumida, y el conocimiento que se tiene sobre él, como una construcción humana.

1.6 La enseñanza de la Química: encanto y complejidad

1.6.1 De la Química del químico a la Química del alumno

Un artículo publicado hace ya muchos años, cuya versión castellana lleva por título *La Física del profesor. Entre la Física del físico y la Física del alumno* (Halwachs, 1975) -que plantea una reflexión importante en relación con el objetivo de enseñar Física en los diferentes niveles de enseñanza, en particular en la Enseñanza Secundaria- es el que da origen al título de ese apartado, ya que es uno de los precursores de la discusión acerca de los objetivos y las problemáticas asociados a una concepción de "Ciencia para todos". Discute la necesidad de transformar profundamente el objeto de saber a enseñar, para llevarlo al aula y, en ese proceso de transformación, plantea la que resulta sin duda, la decisión más difícil: qué Ciencia enseñar.

Reconocer la importancia de la transformación del objeto a enseñar en objeto de conocimiento para ser enseñado, implica que el primer paso en el diseño de cualquier propuesta de enseñanza de ciencias sea la reelaboración del conocimiento científico de manera tal que se pueda proponer a los alumnos en la correspondiente etapa del proceso de aprendizaje. Esta tarea singular implica traducir el conocimiento experto formal para hacerlo asequible a los estudiantes, en un delicado proceso de toma de decisiones. Con respecto a la naturaleza de esta tarea, Chevallard (1985) llama *transposición didáctica* al trabajo que se realiza para transformar el conocimiento científico en conocimiento a enseñar. Esa tarea de traducción del objeto de saber científico al objeto de enseñanza, implica un análisis minucioso del conocimiento científico en cuestión y tenerlo continuamente como referente (Figura 1.3).

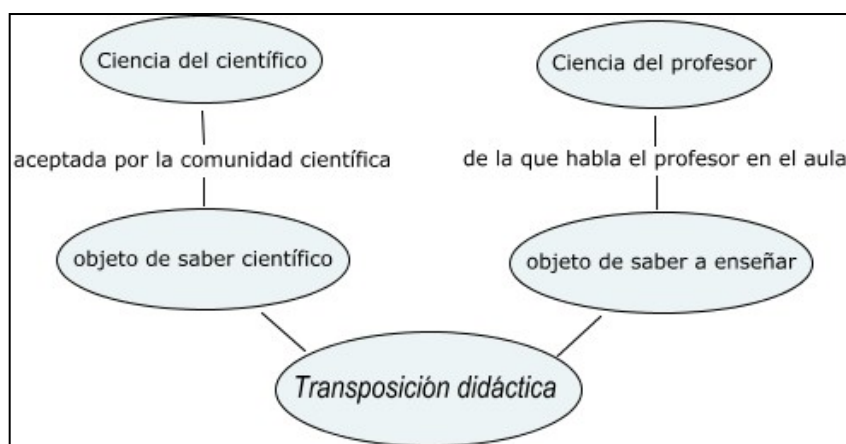


Figura 1.3. Esquema que muestra la interrelación entre ciencia normal y ciencia escolar (adaptado de Domínguez, 1999).

Esta traducción del conocimiento requiere reflexionar acerca de la diferente naturaleza que tienen el conocimiento científico y el conocimiento escolar. La tarea de transposición implica, además de un exhaustivo análisis del contenido a enseñar, un análisis didáctico teniendo en cuenta la forma en que el alumno aprende.

La elección del conocimiento objeto de aprendizaje, deseable desde la ciencia escolar, supone un proceso de diferenciación de lo que es interesante y relevante del conocimiento que poseemos y lo que es interesante y relevante para el estudiante (Arnay, 1997). Así, un objeto de saber científico llega a ser objeto de saber para enseñar.

A la hora de pensar en la enseñanza de la Química, se nos plantea el importante bagaje de conceptos, modelos y símbolos que involucra; se nos vienen a la memoria los programas de Química cargados de ellos. Pero la Química, tal como la concebimos, no es eso; no es esa larga lista de conceptos y modelos. Se trata, desde el punto de vista conceptual, de un entramado sobre el que se sustenta todo el conocimiento acerca de la relación existente entre la estructura de las sustancias y sus propiedades (Figura 1.4).

Los conceptos de átomo, compuesto, reacción química, los principales conceptos de la Termodinámica, el modelo cinético molecular, entre otras entidades teóricas con elevado nivel de abstracción, conforman un entramado conceptual que presenta una característica esencial: el significado de un concepto específico está determinado por su interrelación con otros. Se genera así una trama conceptual que determina el contexto en el que ese significado específico tiene sentido (de Vos y otros, 1994). Los significados de conceptos centrales en Química, han ido cambiando aún su categoría ontológica, a la vez que se han modificado las relaciones entre ellos en los diferentes contextos históricos (Rocha, 2005).

Por ejemplo, el concepto de reacción química puede tener un significado fenomenológico, asociado sólo a ejemplos específicos de reacciones químicas que permiten ilustrar este tipo de fenómeno; pero un significado más adecuado al contexto de la Química de este siglo, estará necesariamente relacionado y condicionado por el concepto de sustancia y este a su vez, por el de propiedades de las sustancias en función de su estructura.

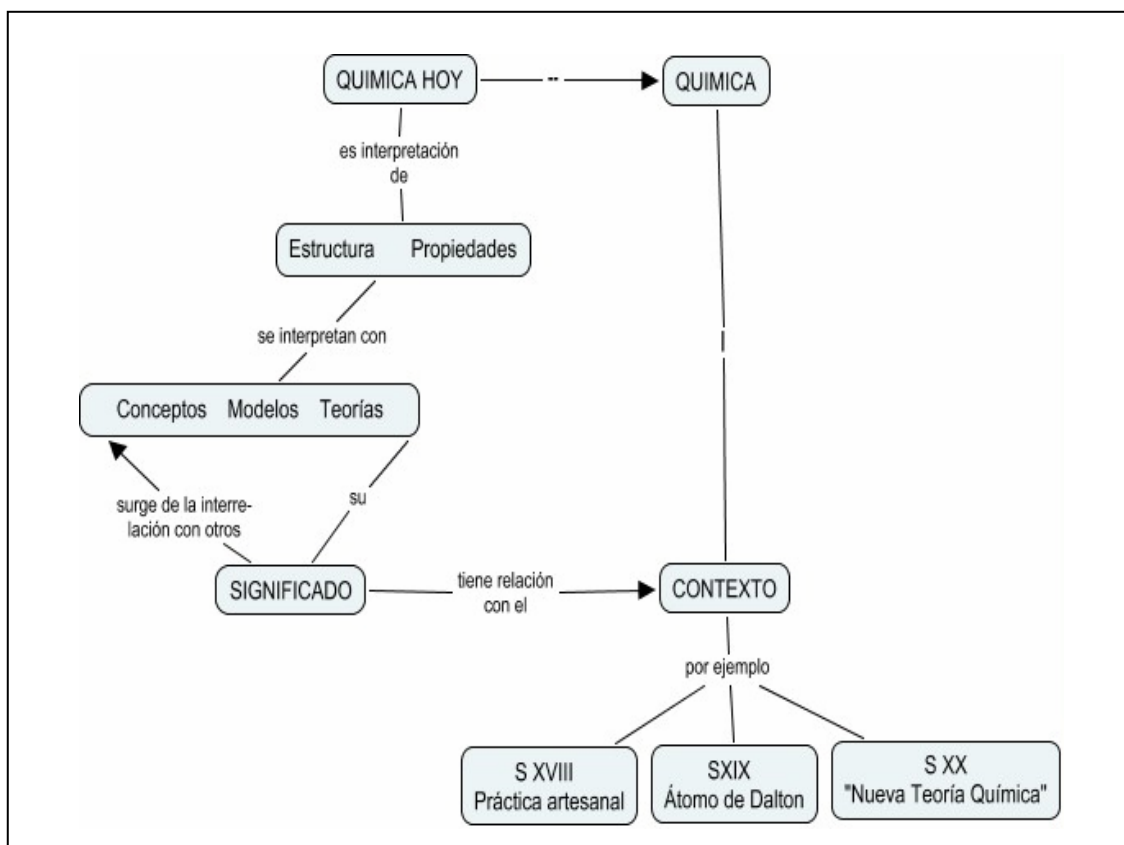


Figura 1.4. *La Química, los significados y el contexto*

Otro ejemplo podría ser el concepto de mol. Actualmente su significado es el resultado de la consideración de las reacciones químicas en un marco teórico atomista. En el contexto original en el que fue introducido por Ostwald (principios de siglo XX), el concepto de mol tiene un significado claramente diferente. Ello se puede intuir, aún sin profundizar demasiado, a partir de la bien conocida oposición de Ostwald a la hipótesis atómica. En ese contexto, su problema era determinar la composición en peso de las sustancias compuestas y calcular las proporciones en peso en que se combinan las sustancias en las reacciones químicas, para cuya resolución postula el concepto de mol, que define como el peso de combinación expresado en gramos. Además, en este paradigma, el concepto de cantidad de sustancia se identifica con el de masa.

El conocimiento empírico del comportamiento de las sustancias es una habilidad muy importante para un químico, tanto como saber formular, pero ese conocimiento se completa con la interpretación de la estructura de los sistemas materiales, que permite elaborar explicaciones.

La Química, como ninguna otra disciplina científica, comprende conceptos que son completamente abstractos que sirven para interpretar las propiedades macroscópicas de los sistemas materiales y sus cambios. Polvos amarillos pueden ser elementos, sustancias puras o mezclas; líquidos o gases incoloros pueden ser diferentes sustancias o diferentes mezclas... ¿Qué posibilidades cognitivas, desde sus experiencias previas de aprendizaje por percepción, tienen los estudiantes para comprender conceptos químicos abstractos, si ni siquiera conocen esas propiedades macroscópicas? (Galagovsky, 2005).

Para conseguir una adecuada interpretación de cada uno de los conceptos químicos es necesario trabajarlos a nivel macroscópico, microscópico y simbólico. Este es otro de los ingredientes que contribuye a la complejidad de la Química y que además tiene relación explícita con este trabajo. Los químicos trabajan a estos tres niveles de representación y explicación, de forma integrada y haciendo uso de los diferentes "herramientas" propias de cada uno de ellos. El experto puede utilizar complementariamente diferentes lenguajes y niveles de pensamiento y representación de manera integrada. Cuando los profesores usan diferentes "lenguajes" en clase, en realidad están manejando una cantidad de información implícita, a la vez que se mueven de uno a otro nivel de representación, muchas veces sin ser conscientes de ello.

1.6.2. La enseñanza de la Química y los tres niveles de representación

La naturaleza compleja del pensamiento Químico requiere concebir el aprendizaje de este campo del conocimiento, como un proceso en el que se integran de manera simultánea tres niveles de pensamiento: macroscópico, microscópico y simbólico. Enseñar Química implica entonces trabajar a estos niveles diferentes sobre los mismos fenómenos, de manera que estén perfectamente conectados unos con otros durante la instrucción, para que el alumno pueda conseguir una adecuada comprensión conceptual. En relación con lo anterior, se debería pensar el aprendizaje en Ciencias Naturales, en especial en Química, como ocurriendo de manera simultánea en tres niveles de pensamiento (macroscópico, microscópico y simbólico), relacionados en la representación que se muestra en la Figura 1.5.

El nivel macroscópico corresponde a lo adquirido a partir de la experiencia sensorial directa. Este nivel se construye mediante la información proveniente de nuestros sentidos, basada en

propiedades organolépticas, visuales, auditivas y táctiles. Es el nivel de trabajo del químico “por excelencia”. El nivel microscópico, según Johnstone (1982), hace referencia a las representaciones abstractas que un individuo tiene en su mente, asociadas por ejemplo, a esquemas de átomos, moléculas, iones. El tercer nivel, el simbólico, involucra formas de expresar conceptos químicos mediante fórmulas, ecuaciones químicas, expresiones matemáticas, gráficos y otras representaciones.

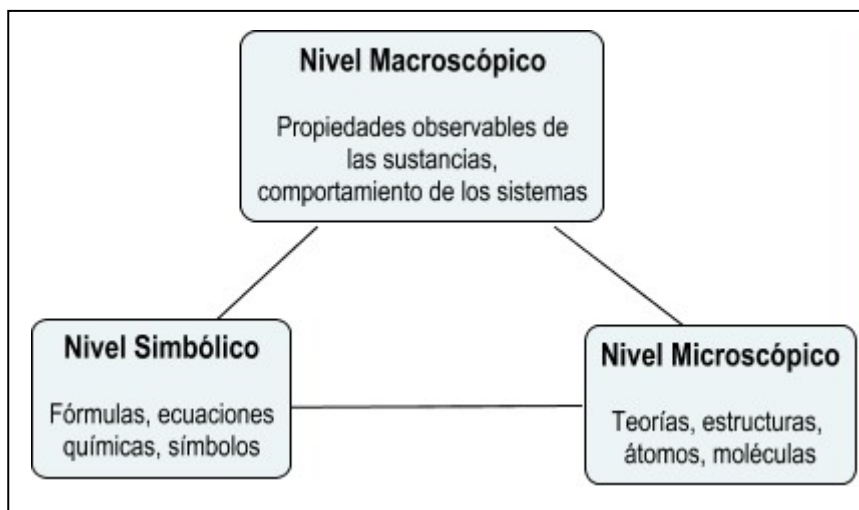


Figura 1.5. *Niveles de representación en Química según Johnstone (1982).*

Johnstone (1982) denomina a los tres niveles de representación con los que trabaja un químico: descriptivo y funcional, de representación y explicativo. En el nivel descriptivo y funcional los químicos manejan, observan y describen propiedades (en términos de color, dureza, etc.) de los materiales como así también las transformaciones de unos materiales en otros, reconocidas a través del cambio en las propiedades. Para explicar que las sustancias químicas se comportan de determinada manera recurren a átomos, moléculas, iones, esto es, al nivel explicativo. La forma de representar esas sustancias y los cambios que ocurren, esto es, las fórmulas químicas y las ecuaciones, constituyen las principales herramientas del nivel de representación.

Las imágenes de esferitas (nivel simbólico) que se suelen usar para describir el estado o el comportamiento de un sistema (nivel microscópico), que se corresponde con una explicación de lo que sucede según el modelo molecular de la materia (nivel explicativo) pueden resultar para el que aprende, “desconectadas” de su experiencia sensorial directa en relación con el proceso químico que se está estudiando.

Aquí es necesario llamar la atención porque muchos de los problemas de aprendizaje que se han detectado en Química tendrían relación con dificultades de comprensión conceptual que podrían ser el resultado de un trabajo poco integrado en los tres niveles de pensamiento a que se hace referencia aquí. Por ejemplo, algunas de dichas dificultades podrían asociarse a que en clase de Química se hace demasiado énfasis en el nivel simbólico (Gabel, 1999), se trabaja en clase casi exclusivamente en base a símbolos químicos, fórmulas químicas, ecuaciones químicas, que no conllevan, necesariamente para el alumno, otro tipo de conocimiento; dejando de lado el trabajo de integración de conceptos y modelos que permitan interpretar lo que esos símbolos representan.

Específicamente, por ejemplo, algunas investigaciones relacionadas con la resolución de problemas en Química (Nakhleh y Mitchell, 1993; Nuremberg y Pickering, 1987), corroboran lo anterior, mostrando que muchos de los alumnos que son capaces de resolver problemas que sólo implican la aplicación de un algoritmo en su resolución, no pueden resolver otro tipo de problemas de índole conceptual porque poseen una limitada comprensión conceptual del tema. A modo de ejemplo: en un sistema como el formado por NO_2 / N_2O_4 , la decoloración del gas contenido en el recipiente de reacción que se observa al enfriar el sistema, es interpretada por un químico en términos de estados diferentes de equilibrio del sistema a cada temperatura, en cada uno de los cuales coexisten los dos óxidos, en una relación de concentraciones determinada, a esa temperatura. Para un alumno novato, el cambio de color podría estar representando, por ejemplo, que una sustancia (NO_2 : pardo) se transformó en otra diferente (N_2O_4 : incoloro). El docente cuando desarrolla con sus alumnos una explicación de lo observado como la que se plantea en el ejemplo antes citado, está pensando simultáneamente en los tres niveles de representación propuestos por Johnstone aunque, en su discurso, sólo explicita información en cada uno de ellos alternativa y secuencialmente y, en general, no es consciente de la complejidad que conlleva para el estudiante procesar toda la información que se pone en juego. Tampoco tiene en cuenta que para sus alumnos, muchas de las explicaciones y representaciones no tienen anclaje directo en la percepción macroscópica de lo que están estudiando.

Hasta aquí se plantea un esbozo de las que se consideran características fundamentales y dificultades más relevantes de la enseñanza de la Química desde el punto de vista de este

trabajo. Esto constituye la base de la posterior discusión sobre las características propias del tema Equilibrio Químico, las cuales ciertamente tienen gran influencia en el aprendizaje por lo que es necesario considerar sus implicaciones para pensar la enseñanza. Diferentes temas pueden y deben ser enseñados de diferente manera. Cada tema en particular tiene su propia complejidad y por ende requiere de un análisis particular.

1.7 Equilibrio Químico en la enseñanza de la Química

Los aspectos mencionados antes acerca de la complejidad de la Química, se ven reflejados en el Equilibrio Químico. Además, su utilidad para la comprensión de una amplia gama de situaciones de interés en el campo de la Química lo constituye en uno de los temas representativos de esta ciencia y con un gran atractivo desde el punto de vista de la didáctica. Se trata también de uno de los temas de Química que mayores dificultades plantea para su enseñanza y aprendizaje, ello reflejado en el gran número de trabajos que se han escrito sobre esta problemática y en lo que certifican los autores que han realizado revisiones vinculadas con ello (van Driel y Gräber; 2002; Raviolo y Martínez A., 2003).

La ciencia requiere de una enseñanza que se oriente a un aprendizaje de conceptos, más o menos complejos, que permitan a los alumnos interpretar y predecir los hechos, datos e información, junto con un aprendizaje de la habilidad de aplicar los conceptos y modelos teóricos que se comparten en el aula, a distintas situaciones y contextos.

1.7.1. Equilibrio Químico es uno de los contenidos de Química más interesantes

Se trata de un tema que resulta muy relevante y representativo, en primer lugar por su interrelación con otros temas fundamentales en Química. Una adecuada comprensión de Equilibrio Químico resulta básica para el aprendizaje en Química, concebida ésta como una ciencia que estudia las relaciones entre la estructura de las sustancias que integran un sistema y sus propiedades físicas y químicas. La de equilibrio químico es una idea central a la hora de interpretar un amplio espectro de sistemas tales como los ácido – base, óxido – reducción, etc. (Camacho y Good, 1989; Bergquist y Heikkinen, 1990), como así en sistemas más complejos de interés biológico e industrial.

La mayoría de los alumnos de Química que inician el estudio de este tema desconocen su relación con sistemas en equilibrio como los que nos interesan aquí; ni siquiera sospechan el gran número de sistemas en equilibrio dinámico con los que están continuamente en contacto, aún cuando sus vidas dependen de estos sistemas (Bergquist y Heikkinen, 1990). En general, sólo han trabajado con reacciones químicas totales, por lo que no conciben la existencia de este otro tipo de sistemas.

Desde el punto de vista conceptual, se trata de uno de los temas de mayor riqueza si se tiene en cuenta el gran número de ideas que involucra. Esto lo hace un tema complejo, dado que su enseñanza requiere atender a la vez a muchos conceptos y sus relaciones (reacción química, ecuación química, reversibilidad y concentración), de forma tal que sean percibidos como una unidad e integrados de esta manera al conocimiento preexistente. Durante su desarrollo resulta imprescindible tener en cuenta entonces que el significado que los conceptos antes mencionados tienen para los alumnos influirá fuertemente en el aprendizaje. Se discute en profundidad este aspecto, en el Capítulo 2.

La idea de equilibrio químico tiene a su vez un cierto nivel de abstracción en cuanto que no es perceptible ni abierta a la experiencia directa de los alumnos, lo cual la hace no susceptible de que estos, al iniciar su estudio, hayan desarrollado ideas previas al respecto. Sí poseen ideas sobre equilibrio provenientes del contexto cotidiano y del aprendizaje en Mecánica (Covaleda y otros, 2005).

1.7.2 Equilibrio Químico es considerado uno de los temas más difíciles de enseñar

There seems to be no topic in freshman chemistry that presents more difficulties to students than chemical equilibrium. After trying for over 30 years to give clear answers to their questions I have come to have a great deal of sympathy with them, realising that the subject is inherently a difficult one (Hildebrand, 1946, p.589) (van Driel y Gräber, 2002)

Este tema es considerado quizá uno de los más difíciles, tanto desde la óptica del alumno como desde el punto de vista la instrucción por parte del docente. Finley, Stewart y Yarroch (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, cuales de ellos presentan mayores dificultades de aprendizaje. Específicamente los docentes de Química indicaron el Equilibrio Químico como el contenido que ofrecía más dificultad.

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; Tyson, Treagust y Bucat, 1999) 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, todo lo cual será analizado en el Capítulo 2.

La perspectiva de algunos profesores universitarios de Química Básica

Se pretende mostrar en este apartado lo que piensan algunos de los docentes de Química que desarrollan su labor docente en el nivel universitario básico en Argentina, acerca de la enseñanza y el aprendizaje del Equilibrio Químico. Se eligen docentes de este nivel educativo dado que son los que poseen mayor experiencia en la enseñanza del tema en cuestión, con alumnos de 17 y 18 años, dado que el tema Equilibrio Químico es uno de los que el alumno estudia por primera vez cuando ingresa en la Universidad.

Para obtener la opinión de los citados docentes, se ha diseñado una encuesta (Cuadro 1.1) a la que han respondido doce de los que tienen a su cargo la enseñanza del tema Equilibrio químico en el nivel universitario básico en seis universidades nacionales argentinas (Universidades Nacionales: del Centro de la Provincia de Buenos Aires, del Litoral, de Cuyo, de Buenos Aires, Tecnológica (San Rafael) y de La Plata). Los docentes encuestados imparten docencia en los primeros 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.

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 del tema por parte de los alumnos? ¿Cuáles?

Cuadro 1.1. Encuesta a los docentes.

Con las preguntas 3 y 4 se pretende poner 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, lo cual se vincula con la pregunta 5. La última pregunta pretende hacer explícito si los docentes son conscientes de las dificultades de los alumnos para el aprendizaje de este tema. Contrastar estas opiniones con las dificultades detectadas por los trabajos de investigación que tratan el tema, sobre los que se realiza una discusión detallada más adelante en este capítulo, provee mayor respaldo a la hora de pensar una propuesta didáctica como la de este trabajo de tesis. En la Tabla 1.1 aparecen los resultados de la encuesta, que se analizan a continuación.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	F
<i>Conceptos centrales para entender el tema.</i>														
Reacciones químicas	Reacción química	X	X		X									10
	Ecuación química / Estequiometría		X			X					X	X	X	
	Reversibilidad / Reacciones Incompletas		X	X		X	X	X						
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
K _{eq}													X	1
Cinética					X									1
<i>Es difícil de enseñar</i>														
<i>SI</i>			X				X	X	X	X		X	X	7
<i>Dificultades de aprendizaje detectadas</i>														
Reversibilidad				X								X	X	3
Compartimentalización del equilibrio.		X	X			X	X			X				5
Equilibrio como algo estático		X	X							X				3
Dificultades de utilización del Principio de Le Chatelier			X			X		X		X				4
Resolución mecánica de problemas		X						X	X		X			4
<i>Usa Modelo Cinético Molecular</i>														
<i>SI</i>		X	X						X	X				4

Tabla 1.1. Respuestas de los docentes encuestados

En las primeras filas aparecen los conceptos que los docentes citan como centrales para entender el tema. Entre ellos, los tres primeros, se relacionan de alguna manera con el concepto de reacción química, por lo que se los considera de forma conjunta. De los doce docentes encuestados, diez consideran, entre los conceptos centrales para el aprendizaje del tema Equilibrio Químico, el de reacción química y/o alguno de los que se incluyen en el estudio de reacciones químicas, como ecuación química y reversibilidad.

El otro concepto que aparece citado en la mitad de las encuestas es concentración (dos de los docentes hablan de actividad, posiblemente debido a que desarrollan el tema también en los cursos superiores, en Físicoquímica). Se indican también, la naturaleza corpuscular de la materia, las leyes de los gases, la ley de acción de masas, la constante de equilibrio y la cinética de reacción, pero todos, en una única oportunidad.

Siete docentes 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. Entre ellas citan como relevantes la compartimentalización del equilibrio, las dificultades de uso de Le Chatelier (4) y la resolución mecánica de problemas (4).

Cinco docentes coinciden con los trabajos de investigación respecto de la compartimentalización del equilibrio: manifiestan que los alumnos ven el sistema que ha alcanzado el equilibrio como dos compartimentos separados y que no reconocen la coexistencia de todas las sustancias que intervienen en el mismo recipiente. Tres de ellos también mencionan que los alumnos consideran el equilibrio como algo estático.

Cuatro docentes indican que sus alumnos tienen dificultades para utilizar el Principio de Le Chatelier. También los trabajos de investigación sobre el tema plantean frecuentemente dificultades con el uso de este principio, como se discute más adelante. Cuatro de ellos señalan además de su preocupación porque consideran que los alumnos aprenden a resolver de forma mecánica los problemas de Equilibrio Químico, dos de los cuales la consignan como la única dificultad que han detectado.

En tal sentido llama la atención que sólo tres de los docentes parecen tener en cuenta explícitamente alguna dificultad relacionada con la adquisición de conceptos y/o modelos que se consideran anteriores al que nos ocupa. Todos ellos mencionan como dificultad de aprendizaje, el concepto de reversibilidad.

Es interesante señalar que, entre quienes piensan que el Equilibrio Químico es un tema difícil de enseñar hay tres, cuyas opiniones se indican a continuación, que dicen que utilizan el modelo cinético - molecular en sus explicaciones y plantean que lo hacen, fundamentalmente, para conseguir una mayor claridad conceptual.

Para que interpreten el dinamismo y que se trata de un solo recipiente (docente 1).

Planteo problemas conceptuales en los que se usan representaciones con partículas. Los alumnos advierten la coexistencia, la desigualdad de las concentraciones de productos y reactivos y el dinamismo (docente 2).

Para que no se confundan al analizar moles iniciales y finales y la relación con la estequiometría (docente 9).

De ellos sólo el docente 2, considera que para aprender el tema Equilibrio Químico es central haber desarrollado (y continuar haciéndolo) una idea adecuada del modelo de cinético - molecular.

Las opiniones de los docentes, respecto a que el tema Equilibrio Químico se considera difícil de enseñar y aprender, permiten confirmar lo que se planteaba al inicio del trabajo: los conceptos más importantes a tener en cuenta para la enseñanza del Equilibrio Químico son el de reacción química, con todo lo que este concepto involucra (ecuación química, reversibilidad, reacciones incompletas, estequiometría), y el concepto de concentración.

Las dificultades para el aprendizaje que han detectado en sus alumnos parecen tener, en general, poca relación con la comprensión de los conceptos anteriores. Surgen claramente otros problemas que coinciden en gran medida con los que encuentran quienes han trabajado en investigación en el aprendizaje del Equilibrio: la compartimentalización y el uso del Principio de Le Chatelier resultan las dificultades más citadas junto con la resolución mecánica de problemas, que constituye en sí misma una problemática específica pero que también se puede considerar está condicionada por las demás dificultades mencionadas.

1.7.3 Análisis de dificultades de aprendizaje a partir de investigaciones en el área

Se plantean aquí, a partir de un conjunto importante y variado de trabajos de investigación, aquellas dificultades que se consideran más relacionadas con la enseñanza del Equilibrio Químico, sobre alumnos de 17 - 18 años, que reciben una primera introducción al tema.

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 P. y Solaz, 1995) han mostrado concepciones y dificultades similares. Por ello es posible, aún cuando 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.

Diversos autores de trabajos de investigación sobre la enseñanza del Equilibrio Químico, como Jonhstone, Mac Donald y Webb (1977) y Gorodetsky y Gussarsky (1986) coinciden en que se trata de uno de los temas más complejos desde el punto de vista didáctico. Plantean entre los puntos de mayor conflicto a nivel conceptual que los alumnos tienen dificultad para reconocer e interpretar las características más importantes del Equilibrio Químico, como son el dinamismo y la composición constante y perciben el sistema que ha alcanzado el equilibrio como si estuviese formado por dos recipientes separados. Habitualmente en las investigaciones se ponen de manifiesto las confusiones en que incurren los alumnos cuando utilizan conceptos fundamentales y relacionados con este tema, como pueden ser las que se producen entre velocidad y extensión de la reacción y entre masa y concentración de las sustancias intervinientes. Se hace a continuación un análisis de las dificultades detectadas en los diferentes estudios realizados que se han considerado más relevantes para este trabajo y se incluye, en los casos en que ello es posible, la opinión de los autores de los trabajos sobre las causas a que pueden atribuirse cada una de ellas.

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

Como ya se mencionó, esta es una de las dificultades más extendida que se detectan y que se analizan en algunos estudios como el de Wheeler y Kass (1978) junto a la confusión velocidad -

extensión. Ambas aparecen, en el mencionado trabajo, como relacionadas con el nivel cognitivo de los alumnos y no con su rendimiento, por lo cual los mismos autores sugieren que los conceptos de masa, concentración, velocidad de reacción y extensión requieren consolidación para los alumnos.

Discriminar los conceptos de masa y concentración implica la interpretación de las diferencias existentes entre dos tipos de variables (extensiva e intensiva) que hasta el momento en que el alumno inicia el estudio del Equilibrio Químico no es necesario distinguir explícitamente. Aún más, para referirse a cantidades de sustancia en un sistema, hasta ese momento en general sólo se usa el número de moles.

Otro de los trabajos (Furió y Ortiz, 1983) que se ocupa de la dificultad en cuestión la detecta tanto en el tratamiento de sistemas homogéneos como heterogéneos trabajando con dos grupos de alumnos, uno integrado por alumnos del curso de orientación universitaria (aquellos que se preparan para ingresar a la universidad) y otro formado fundamentalmente por graduados recientes de la licenciatura en Química y alumnos del último año de esa carrera. Lo más notable que muestra el estudio es que esta dificultad es la única que persiste en una proporción importante de los alumnos (50% - 60%), aún en los últimos años de la formación universitaria.

El sistema homogéneo elegido por los autores para detectar la confusión masa – concentración, es quizá el más utilizado por los docentes y por los textos para ejemplificar las características de los sistemas en equilibrio: la mezcla de N_2 , H_2 y NH_3 en equilibrio en un recipiente cerrado. Dada la composición de la mezcla en equilibrio -en moles de cada una de las sustancias presentes (1.3 moles de NH_3 , 0.1 moles de N_2 y 0,3 moles de H_2)- se propone calcular la constante de equilibrio del sistema y se dan opciones entre las que se incluyen:

- a) *No es posible el cálculo* c) $K_c = 1.32 / 0.1 \times 0.33$
b) $K_c = 0.1 \times 0.33 / 1.32$ d) *No lo sé*

La opción c) resulta la más elegida por los integrantes de ambos grupos: el 77% de los alumnos de COU y el 55% de los licenciados, de los cuales, el resto elige la opción a), que es la correcta.

Como puede apreciarse, el 77% de los alumnos utiliza los datos de número de moles de cada una de las especies presentes en el equilibrio, como si se tratase de la concentración de las mencionadas especies. Sólo podría realizarse el cálculo si se conociese el volumen ocupado por el sistema en equilibrio a la temperatura en cuestión.

Este estudio plantea además para detectar la misma dificultad el siguiente sistema heterogéneo: $\text{NH}_4\text{Cl(s)} \rightleftharpoons \text{HCl(g)} + \text{NH}_3\text{(g)}$. En tal caso surge que, ante una pregunta de opción múltiple en la que pide proponer formas de variar la concentración de sólido (NH_4Cl) presente en el sistema, la mayoría de los alumnos -más del 70% en ambos grupos (alumnos de COU y avanzados de licenciatura en Química)- eligen alguna de las opciones, esto es, no reconocen que la concentración de un sólido puro es constante. Utilizan las ideas de masa y de concentración, indistintamente.

Con respecto a que los alumnos no reconocen que la concentración de un sólido o de un líquido puros es constante, -hay que tener en cuenta que 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 cuando se estudia el tema concentración. La dificultad que se analiza aquí persiste aún después de la formación universitaria. 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* (Furió y Ortiz, 1983).

Para Gorodetsky y Gussarsky (1986), 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 que la importancia del sólido, está dada por su presencia en el sistema y no por la cantidad.*

1.7.3.2 La confusión entre velocidad y extensión de la reacción

Es una de las dificultades que aparece en casi todas las investigaciones. Ocurre que los alumnos parecen no distinguir entre la velocidad de una reacción y en qué extensión se produce y

parecen aceptar sólo superficialmente la igualdad de las velocidades de las reacciones directa e inversa en el equilibrio.

Wheeler y Kass (1978), trabajando con estudiantes de química de 17-18 años, detectaron la existencia de la confusión velocidad - extensión, en un 30% de los alumnos. A una conclusión similar llegan Johnstone, MacDonald y Webb (1977) cuando investigan con ecuaciones en las que las flechas son de diferente longitud: $\text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$. 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. En este caso además no puede desconocerse que la utilización de la simbología está condicionando la interpretación del sistema.

Alumnos australianos de 17 años, que habían recibido una instrucción fundamentalmente de tipo cualitativo en el tema Equilibrio Químico, al ser entrevistados atribuyeron los cambios sobre las velocidades de reacción en el equilibrio a diversos factores. Sus explicaciones incluyeron 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 (Hackling y Garnett, 1985). Esto se discute más adelante en el Apartado 1.4.3.5. Algunos alumnos en este mismo estudio, también mostraron esta confusión cuando interpretaron que el efecto de la adición de un catalizador al sistema en equilibrio puede afectar de diferente forma a las dos reacciones (directa e inversa).

Resulta muy interesante hacer mención aquí a un trabajo que sobre resolución de problemas de equilibrio químico realizaron Camacho y Good (1989). Trabajaron con una muestra de 23 personas entre las que había expertos y principiantes (separados así por su experiencia en Química) y pudieron establecer importantes diferencias entre unos y otros en lo que hace al conocimiento del contenido. Las mayores diferencias estuvieron justamente en la cantidad y calidad del conocimiento específico expresado y aplicado por cada uno. La mayoría de los inexpertos tuvieron dificultad para acceder a los conceptos importantes y mostraron un gran número de concepciones alternativas, entre las cuales una de las más generalizadas fue la confusión entre velocidad y extensión de la reacción.

Casi todos los novatos confundieron la extensión o completitud de una reacción (concepto termodinámico) con la velocidad de una reacción alcanzado el equilibrio (concepto cinético) (Camacho y Good, 1989).

Pero lo que más llama la atención es que cuando dieron una explicación de cómo afecta la temperatura a la velocidad de reacción lo hicieron utilizando el conocimiento básico adecuado pero sin tener en cuenta que en el sistema está ocurriendo también la reacción inversa.

(...) la tendencia general fue decir que un incremento en la temperatura aumenta la energía cinética de las moléculas, las cuales reaccionan más rápidamente para formar más productos (Camacho y Good, 1989).

Esta dificultad ha sido detectada también en grupos de docentes de ciencias que han tenido instrucción universitaria en Química. La misma ha persistido en un número importante de los docentes, aún después de participar en una propuesta de formación en servicio especialmente pensada para trabajar sobre las principales dificultades relacionadas con el aprendizaje del tema equilibrio químico y para lograr que estos desarrollen mejores competencias para la comprensión y la resolución de problemas en este campo, como así también, para la enseñanza del tema (Banerjee, 1991b).

Compartimentalización y visión pendular del equilibrio

Es bastante frecuente que los alumnos perciban el sistema en equilibrio como un sistema formado por dos compartimentos separados entre los que va y viene. Parece como si cada lado de los mostrados por la ecuación química correspondiese a un recipiente distinto. Johnstone, Mac Donald y Webb (1977), a través de uno de los ítem 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 ellos conciben el sistema en equilibrio como formado por dos compartimentos separados, como si se tratase de dos recipientes diferentes. Es de destacar que el ítem de la prueba mencionada plantea una situación impracticable desde el punto de vista experimental, lo cual no es advertido por muchos de los alumnos:

En el familiar sistema Haber de equilibrio: $N_2(g) + 3 H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$, la aplicación de un incremento de presión del lado derecho **solamente**, desplazaría el equilibrio a la izquierda. ¿Cuál sería su comentario sobre esta afirmación?

- A. Es correcto
- B. Es incorrecto, el equilibrio debería en realidad desplazarse a la derecha
- C. Es impracticable
- D. Es correcto en la medida en que el nitrógeno y el hidrógeno son continuamente removidos
- E. No se qué opinión elegir

El 20% de los alumnos respondieron *es correcto* mientras que otro 28% consideró incorrecta la afirmación porque *el equilibrio debería desplazarse a la derecha*. Sólo un 21% del total de alumnos reconoció que se estaba planteando una situación *impracticable*.

Los alumnos no conciben la mezcla en equilibrio como una sola, sino que toman cada lado de la ecuación química independientemente. Esta idea de compartimentalización del equilibrio condiciona a su vez, la visión del equilibrio como consistente en la producción de dos reacciones, directa e inversa, que ocurren en forma pendular (interpretación pendular del equilibrio), dos estados entre los que el sistema va y viene (como si fuera una balanza).

Al respecto, Bergquist y Heikkinen (1990) describen algunos resultados obtenidos por el primero, utilizando entrevistas realizadas a alumnos de Química General y en referencia a ello expresan:

Los alumnos entrevistados frecuentemente describieron el equilibrio como un juego de reacciones oscilantes o como exhibiendo un comportamiento pendular. La descripción general de este proceso oscilante fue que la reacción directa, la que genera productos, llega a completarse antes de que una segunda reacción, la que genera los reactivos originales, comience.

Johnstone, Mc Donald y Webb (1977) proponen que este tipo de ideas puede tener sus raíces, en algunas características propias de la instrucción como por ejemplo:

- El uso de las ecuaciones químicas, con la doble flecha, sin tener en cuenta que el significado que los alumnos dan a la doble flecha no necesariamente coincide con el que tiene para un químico.

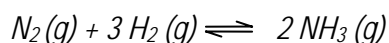
- Algunas analogías utilizadas en la enseñanza del equilibrio químico que consisten en dos compartimentos como por ejemplo, agua entrando y saliendo de un recipiente a la misma velocidad.
- La idea de equilibrio que poseen los alumnos, proveniente de la Mecánica (analogía con la balanza).

Cabría señalar aquí que otra fuente de la visión pendular que los estudiantes adquieren del sistema en equilibrio, podrían ser algunas demostraciones en el laboratorio que muestran cómo cambia el equilibrio asociándolo a cambios de color. En relación con esta situación, van Driel y otros (1998), trabajando con un grupo experimental de 120 alumnos de escuela secundaria, en clase de laboratorio, encontraron que responden a las preguntas que se les formulan, en relación con sus observaciones, de manera adecuada, mostrando que aceptan la posibilidad de que en dicho sistema ocurran dos reacciones simultáneas a pesar de que no haya cambios observables. Sin embargo, muchos de ellos, ante los cambios de color del sistema, aún muestran una tendencia a relacionar la ocurrencia de reacción química con dichos cambios de color observados. Para interpretarlo, separan las dos reacciones en espacio y tiempo, lo cual se puede apreciar cuando dicen, por ejemplo: *It would have to turn blue, and then back to completely pink, and then blue again*

Estequiometría y composición del sistema en equilibrio

Los alumnos perciben la composición del sistema en equilibrio directamente relacionada con la estequiometría de reacción mostrada por la ecuación química correspondiente. BouJaude (1993) realizó un trabajo que involucró 189 alumnos universitarios de primer año de Ciencias e Ingeniería de una universidad privada de Nueva York, que habían recibido una instrucción de tipo convencional en términos cinéticos en el tema Equilibrio Químico. Les propuso resolver individualmente tres problemas sobre el tema en cuestión, uno de los cuales se transcribe a continuación:

$K_c = 4.4 \times 10^4 \text{ M}^{-2}$ para el equilibrio dado. ¿Cuál es la concentración molar de H_2 en el equilibrio cuando la concentración molar de N_2 es $0.11M$ y la de NH_3 es $1.5M$?



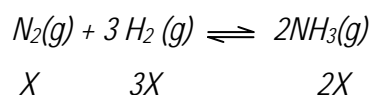
Este problema fue resuelto por algunos alumnos usando un razonamiento matemático más que químico, que se considera interesante mostrar aquí ya que se trata de soluciones en las que se ha hecho caso omiso al dato de la constante de equilibrio. Dos soluciones típicas:

Solución 1:

Con 1.5 moles de NH_3 , si tenemos 0.11M de N_2 , quedan $1.5-0.11=1.39$ moles de H_2 , entonces 1.39 es $3H_2$, así, la molaridad del H_2 es 0.463.

Como se ve, los alumnos que plantean esta solución, usan los datos de concentración como si se tratase de masa, a la vez que no han reparado en que se trata de un sistema en equilibrio y no de un ejercicio de cálculo estequiométrico. Una situación similar se aprecia en la segunda solución, en la que los alumnos utilizan los coeficientes estequiométricos para decidir la cantidad en moles de cada una de las sustancias presentes en el equilibrio:

Solución 2:



1.5 moles de NH_3 producidos, corresponden a $2X$, entonces $X=0.75$. Por lo tanto la molaridad del hidrógeno es 2.25

Este tipo de respuestas muestran que algunos alumnos utilizan indistintamente datos de concentración y de cantidad de sustancia, confundiendo ambos conceptos, como ya se mencionó. Además, identifican las cantidades de sustancia presentes en el equilibrio y las dadas por la estequiometría de reacción sin atender obviamente a que la información que en realidad surge de la ecuación química no puede utilizarse independientemente de la constante de equilibrio si se pretende calcular la concentración de las sustancias presentes en el equilibrio.

Esta misma dificultad es detectada por Hackling y Garnett (1985) quienes realizan entrevistas a alumnos de 17 - 18 años de edad, en las que les piden 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 dada. Estos autores proponen que la mala interpretación de la relación existente entre estequiometría y

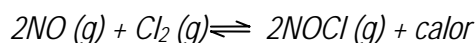
cantidades presentes en el equilibrio podría estar relacionada con el *énfasis dado a la estequiometría de reacción en los cursos de química*.

La utilización del Principio de Le Chatelier

No se puede dejar de mencionar una dificultad tan ampliamente estudiada en un gran número de investigaciones (Gorodetsky y Gussarsky, 1986; Maskill y Cachapuz, 1989; Quílez y Soláz, 1995; entre otras) como es la que surge en la utilización del Principio de Le Chatelier. Sus implicaciones han sido discutidas con diferentes enfoques y objetivos, pero consideramos que en ningún caso puede tratarse como si fuese una dificultad independiente de las demás. Aún cuando se pueda achacar gran parte de las dificultades a que los alumnos aplican mecánicamente el Principio, consideramos que ello está relacionado, al menos en parte, a que el alumno no interpreta qué es un sistema que ha alcanzado el equilibrio, posiblemente porque también la enseñanza, en muchos de los casos, no apunta a ello.

Para Gorodetsky y Gussarsky (1986), los problemas con el Principio de Le Chatelier 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.

En el Apartado 1.4.3.2 se mencionó que Hackling y Garnett (1985) encontraron que los alumnos explicaban los cambios sobre las velocidades de reacción en el equilibrio, producidos por distintos factores (por ejemplo la adición de una de las sustancias que intervienen) aplicando el Principio de Le Chatelier. La transcripción de parte de una de las entrevistas realizadas en el mencionado estudio habla por sí sola de ello. El alumno intenta aplicar Le Chatelier para predecir lo que ocurrirá con las velocidades. Refiriéndose al sistema gaseoso que se muestra en la ecuación, el entrevistador (I) pregunta acerca de las velocidades de reacción en el sistema:



I: *¿Cuando agregamos más NO qué efecto tendrá en las velocidades de las reacciones?*

S: *Crece la velocidad de la reacción directa.*

I: *¿Qué acerca de la acción inversa?*

S: *Disminuirá ... disminuirá.*

I: *Podrás explicarme que ... el incremento en la velocidad directa y la disminución en la velocidad inversa.*

S: *Crece en la directa ... porque agregando más, queremos desplazar a la derecha y deshacerse de ese incremento. Disminuirá la inversa a causa de que queremos menos reactivo porque hemos agregado más.*

En la última intervención del alumno (S) parece estar intentando aplicar el Principio de Le Chatelier al cambio en las velocidades de reacción. Una vez más aparece la confusión entre velocidad y extensión de la reacción.

Este breve recorrido por las principales dificultades asociadas con el aprendizaje del equilibrio químico que aparecen repetidamente en los trabajos de investigación sobre la enseñanza y el aprendizaje de este tema y las opiniones de docentes descritas en el apartado anterior dejan planteado un panorama sobre cuya base ha de llevarse adelante una parte importante del diseño objeto del presente trabajo.

1.8 El tema Equilibrio Químico en el Sistema Educativo argentino.

El Sistema Educativo Argentino está siendo objeto de cambios continuos desde hace ya más de una década. De todas maneras, tradicionalmente y con muy raras excepciones, los estudiantes se encuentran con el estudio del tema Equilibrio Químico por primera vez, cuando ingresan a la Universidad. En este apartado se describe esta situación y se le da contexto. Finaliza esta descripción con un análisis de la forma en que tratan este tema algunos textos de Química básica universitaria, habitualmente usados en los primeros cursos.

1.8.1. Equilibrio Químico en la formación universitaria

En Argentina, cuando el alumno ingresa a la Universidad ha tenido contacto, en diferente medida, con una parte importante de los conceptos centrales de la Química, ha trabajado realizando cálculos estequiométricos y con un modelo de materia discontinuo; conoce los átomos, iones, moléculas, enlaces, reacciones químicas, pero no ha tenido, en general, instrucción formal en el tema Equilibrio Químico. Esta situación cambiando actualmente, lo cual puede verse reflejado en que los nuevos textos para ese nivel incluyen el tratamiento del Equilibrio Químico aún de forma muy descriptiva.

Equilibrio Químico en la Carrera de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

La carrera Medicina Veterinaria prepara a los profesionales técnica, práctica y científicamente, sobre una sólida base biológica, físico – química y matemática, para un desempeño idóneo en Medicina Veterinaria y posteriores orientaciones relacionadas con la profesión y demandas del país. El tema Equilibrio Químico está incluido en una de las primeras asignaturas de la carrera Química Biológica, en la que los alumnos han de trabajar sobre los fundamentos de todos los temas químicos que se requieren como base de su futura formación profesional, dado que se trata de la única asignatura “química” de la carrera. El planteamiento de este tema en la planificación de la asignatura prevé el desarrollo de el *Equilibrio aplicado a las transformaciones materiales y energéticas en un sistema cerrado: Uso del modelo de partículas. Equilibrio químico. Conceptos y principios que lo caracterizan: velocidad de reacción. Constante de Equilibrio. Principio de Le Chatelier. Factores que alteran el estado de equilibrio. Equilibrio de ionización del agua. Equilibrio ácido base. Concepto de pH. Soluciones reguladoras. Principales mecanismos reguladores de pH del organismo. Equilibrio redox. Agente oxidante y agente reductor. Potenciales de óxido reducción. Espontaneidad de las reacciones. Equilibrio de solubilidad. Solubilidad molar. Constante del producto de Solubilidad. Kps*. Todos estos contenidos se desarrollan en tres clases teóricas de cuatro horas cada una, una clase de resolución de problemas de tres horas y una clase de laboratorio. Resulta importante ante esta situación, pensar una manera de abordar el tema que permita al alumno desarrollar un concepto de equilibrio químico que le resulte útil para trabajar con distintos tipo de sistemas, dado que esta es la única oportunidad que los estudiantes tienen, durante su carrera, de trabajar la

conceptualización del tema. Esto es, ha de conseguirse una formación básica en Química que incluya una fuerte componente conceptual que sea la base para el desarrollo de algunas cuestiones de la formación profesional específica.

1.8.2 Equilibrio Químico en el diseño curricular del nivel de educación pre-universitario

En el Sistema Educativo Argentino, el nivel Polimodal (15 a 17 años) aparece a partir del año 1996, momento en que se inicia la implementación gradual y progresiva de la nueva estructura, a partir de la Ley Federal de Educación (MCE, 1994). La Escuela Primaria (6 a 12 años) y la Escuela Secundaria (13 a 17 años) cambian por Educación General Básica (EGB), obligatoria, de 9 años de duración (6 a 14 años) y educación Polimodal (15 a 17 años). Entre las orientaciones para el diseño curricular del nivel Polimodal, se propone la revalorización de temas del Área de Ciencias Naturales algo descuidados en el currículo de Enseñanza Secundaria (12 a 17 años), entre ellos el de Equilibrio Químico. Actualmente, la estructura del sistema se halla nuevamente en proceso de modificación, a partir de la Ley de Educación Nacional N° 26206 (MCE, 2006), que, entre otras cuestiones, redefine la estructura del sistema al reemplazar la EGB y Polimodal por Educación Primaria y Secundaria, esta dividida a su vez en dos ciclos: Básico y Orientado. El último ciclo corresponde a la anterior educación Polimodal.

En la Figura 1.6 se muestran comparativamente ambas formas de organización. De todas formas, aún hoy se hallan vigentes los Contenidos Básicos Comunes para Educación Polimodal y las modificaciones introducidas por la anterior Ley en relación con la flexibilidad y apertura del diseño y con una nueva organización de los contenidos que otorga un mayor énfasis puesto en la introducción de contenidos del área de las Ciencias Naturales, desde edades tempranas en la formación de los estudiantes.

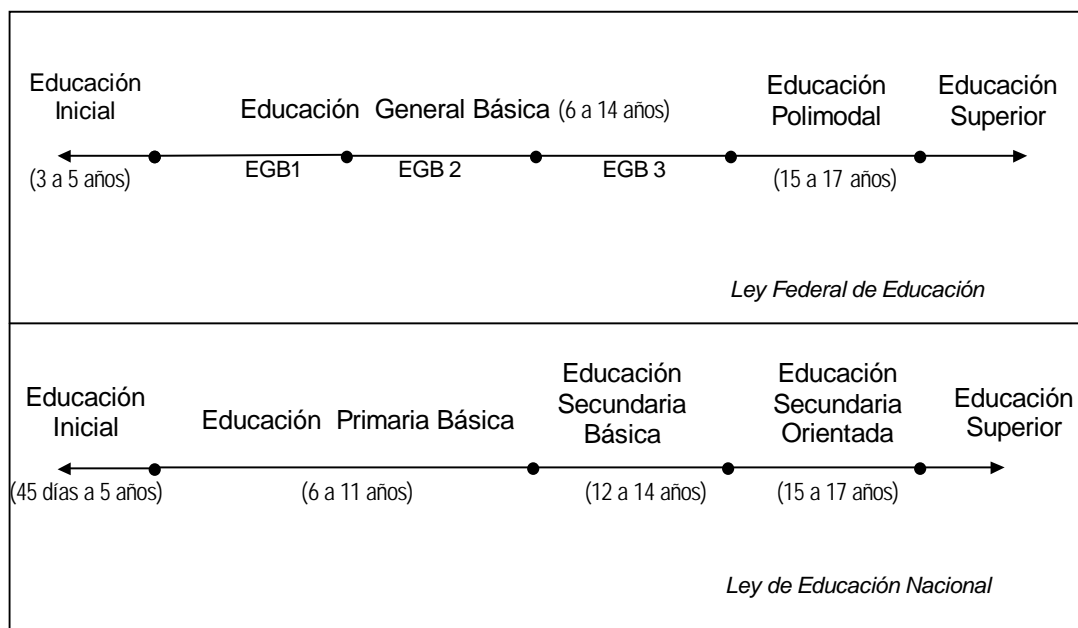


Figura 1.6. Estructura del sistema educativo argentino.

En el Bloque 3 de los Contenidos Básicos Comunes para Polimodal se propone trabajar:

... contenidos referidos a la estructura de los materiales y sus propiedades y presenta un tratamiento de las transformaciones químicas a través de un enfoque introductorio de los conceptos de equilibrio y velocidad de reacción (Síntesis explicativa del Bloque 3: La materia, su estructura y sus cambios - CBC Polimodal (MCE, 1997).

Más adelante, el mismo documento explica, para el eje *transformaciones químicas*:

En este nivel se profundiza la visión de las reacciones químicas alcanzada en la EGB, presentándolas como procesos en los que se redistribuyen las uniones químicas o se transfieren partículas entre dos especies químicas, conservándose la masa total del sistema. Se estudia la naturaleza dinámica de los cambios químicos, analizando modelos visuales de los acontecimientos microscópicos que estos implican. Se presenta una descripción cuantitativa de los cambios introduciendo la noción de concentración y se estudia la velocidad de reacción como variación en el tiempo de la concentración de reactivos y productos. Asimismo se analiza el balance energético de una transformación en términos de la cantidad de calor liberado o absorbido por el proceso (MCE, 1997).

La síntesis explicativa de este bloque también plantea la necesidad de la aplicación del concepto de equilibrio a la interpretación de sistemas tales como los ácido - base.

El estudio de las reacciones que ocurren en medios acuosos requiere conocer la dinámica de la disociación del agua. Se presenta este proceso como un equilibrio que puede describirse cuantitativamente a través de la ley de acción de masas, y a partir del cual pueden conceptualizarse las reacciones ácido - base (MCE, 1997).

El diseño curricular realizado sobre esta base, para la orientación Ciencias Naturales, por la Provincia de Buenos Aires, propone, en relación con este mismo eje conceptual, como una de las expectativas de logro: *Aplicar el concepto de equilibrio dinámico e interpretar los cambios producidos por los factores que modifican el estado de equilibrio en un sistema.* Los últimos documentos curriculares elaborados por la provincia, para este nivel, corresponden al Programa de definición del Diseño curricular de nivel Polimodal y datan del año 2004. En ellos se refuerzan las definiciones en cuanto a fines y posibilidades del nivel y se redefinen algunas cargas horarias de las diferentes disciplinas básicas para fortalecer dicha formación en todas las modalidades. En este marco se plantea que en el espacio curricular Química ha de procurarse que los estudiantes consigan, entre otros logros: *El aprendizaje de conceptos y la construcción de modelos; el desarrollo de destrezas cognitivas y de razonamiento científico; el desarrollo de destrezas experimentales y de resolución de problemas vinculados a la vida cotidiana.* Específicamente referido a Equilibrio Químico, el documento plantea la introducción de *la noción de equilibrio dinámico y su descripción cuantitativa... El uso del modelo de materia discreta ayuda a su comprensión.* Y dice más adelante: *Resulta de gran importancia la conceptualización del equilibrio ácido - base y su caso más específico referido a la disociación del agua. Junto a la introducción del pH como medida de acidez y a la posibilidad de regulación de la acidez (DGCE, 2003)*

Como puede apreciarse, el diseño curricular de Polimodal indica que debería conseguirse la introducción del concepto de equilibrio químico, en un contexto en el que se realce la importancia del análisis de los procesos a nivel microscópico. Todo esto orientado a lograr la aplicación del concepto de equilibrio dinámico para interpretar el comportamiento de sistemas específicos tales como los ácido - base.

1.8.3. El tema Equilibrio Químico en algunos textos de Química básica

Se ha incluido una breve reseña del tratamiento del tema en los textos de Química Básica, que permite mostrar algunos aspectos que se considera pueden ser indicativos de la forma en la que habitualmente se enseña Equilibrio Químico a nivel introductorio en Argentina. Los textos, como una de las fuentes importantes en las que se halla documentado el conocimiento científico que llega a las aulas, son un material cuyo análisis permite ampliar la visión existente acerca de la enseñanza de un tema particular. Es importante aclarar aquí que los libros destinados a educación secundaria y/o Polimodal están incorporando este tema en los últimos años, razón por la cual, el análisis que aquí se presenta se refiere a libros usados en las primeras asignaturas básicas de la Universidad. Los textos elegidos son cuatro (Cuadro 1.2). El criterio de selección seguido es que son los que dicen utilizar los docentes universitarios en asignaturas básicas de Química (Apartado 1.7.2).

	Título	Autores	Año	Editorial
Texto 1	<i>Química General</i>	Whitten, Davis y Peck	1997	Mc Graw Hill
Texto 2	<i>Química</i>	Chang	2001	Mc Graw Hill
Texto 3	<i>Química: moléculas, materia y cambio</i>	Atkins y Jones	1998	Omega
Texto 4	<i>Química: La ciencia central</i>	Brown, Le May y Bursten	1998	Prentice Hall

Cuadro 1.2. Textos de Química básica universitaria analizados

Se analiza primero en qué parte del texto aparecen algunos conceptos que se consideran relevantes para la introducción del equilibrio y donde se desarrolla el tema en cuestión. A continuación, se considera de qué manera se desarrollan esos conceptos relevantes, apuntando fundamentalmente a conocer si los mismos se integran luego y cómo en el tratamiento del tema Equilibrio Químico. Los conceptos relevantes que se han considerado son: reversibilidad de las reacciones químicas y equilibrio dinámico (asociado al análisis de sistemas físicos). Por último se analiza concretamente la secuencia de presentación del tema Equilibrio Químico y se tiene en cuenta si incluye referencias a las condiciones del sistema (temperatura constante y sistema cerrado). Algunas de las preguntas que guían esta indagación son:

- ¿Dónde aparece tratado el concepto de reversibilidad de las reacciones químicas previo al desarrollo del tema Equilibrio Químico y cómo se trata?
- ¿Dónde aparece el concepto de Equilibrio dinámico y cómo se lo trata?
- ¿En qué capítulo del libro se introduce el tema Equilibrio Químico?
- Durante el tratamiento del tema Equilibrio Químico:

- ¿Qué secuencia se sigue para el desarrollo del tema?
- ¿Aparece relacionado con lo tratado sobre equilibrio dinámico previamente?
- ¿Aparece relación con lo planteado antes para reversibilidad de las reacciones?
- ¿Aparecen menciones explícitas a las condiciones para que se alcance el equilibrio?
- ¿Se utiliza el modelo de materia?

Si bien este análisis apunta a mostrar el tratamiento del tema que hacen los libros de texto, se aprovecha también para profundizar en algunos puntos que sirven para pensar el desarrollo de la propuesta didáctica. A continuación se describe lo hallado para cada uno de los textos analizados. En la Tabla 1.2, se presenta un resumen comparativo de los cuatro textos.

En el capítulo introductorio a Equilibrio Químico								
TEXTO	Cómo se trata el concepto de RRv	Dónde y cómo se trata el concepto ED	CAPÍTULO en que introduce el tema EQ	¿Aparece relación con lo tratado previamente?	SECUENCIA de tratamiento del EQ	¿Se hace referencia a ...?		Uso MCM
						T constante	Sistema cerrado	
1	En caps. 4 y 17: reacción que no alcanza a completarse y ocurren reacciones en ambos sentidos (no se hace mención a la simultaneidad). El símbolo \rightleftharpoons se usa indistintamente para representar reacción reversible ó equilibrio dinámico	Equilibrio dinámico aparece mediante una interpretación molecular, en el Capítulo 13, cuando se presenta el concepto de presión de vapor.	Capítulo 17 (después de Cinética)	No se retoma la idea de ED desarrollada antes	- RRv (en ambos sentidos) - $A + B \rightleftharpoons C + D$: Equilibrio: $v_{\rightarrow} = v_{\leftarrow}$ - Ejemplo sistema en equilibrio con datos numéricos - K - Relación K – Q - Análisis comportamiento: $Q \rightarrow K$ - Relación entre ΔG y K	No (sólo en relación con K)	No	No
2	En Cap. 4: comportamiento del ácido acético en agua, para diferenciarlo de un ácido fuerte. La idea de RRv, se usa sin profundizar en el concepto. Se habla de reacción incompleta. Parece existir equivalencia entre reversible y equilibrio. No se habla de simultaneidad de los procesos directo e inverso.	En el Capítulo 11 en el mismo texto, dentro del apartado <i>Cambios de fase</i> se describe macroscópica y microscópicamente, el sistema que alcanza el equilibrio l/v para el caso del agua, hasta llegar al concepto de p vapor.	Capítulo 14 (después de Cinética)	Se retoma el sistema evaporación / condensación como ejemplo de ED al inicio del capítulo, pero luego no se lo usa para aplicarlo a los sistemas químicos	- Equilibrio: no se observan cambios, a nivel molecular sigue habiendo "conversión" - Ejemplo sistema en equilibrio con datos - K y Uso de K - Relación entre cinética y EQ - Análisis comportamiento: $Q \rightarrow K$ - Le Chatelier – Uso Le Chatelier	Si, sólo para el caso del sistema evap/cond de agua	Si, sólo para el caso del sistema evap/cond de agua	En descripción sistema evaporación/ condensación de agua
3	Al iniciar Capítulo 13, bajo el título "La reversibilidad de las reacciones químicas". Se hace descripción molecular	Aparece ED en Cap. 10, en el apartado Presión de vapor en que se usa el modelo de materia discontinua para introducir el concepto de equilibrio dinámico y cuando se estudia solubilidad.	Capítulo 13 (antes de Cinética)	ED, antes analizado para equilibrios físicos, para iniciar el tema EQ. Se usa el ejemplo del agua para EQ heterogéneo	- Ejemplos de capítulos anteriores de procesos físicos en ED - Ejemplo Proceso Haber- Interpretación "molecular" - K - Análisis comportamiento: $Q \rightarrow K$. - Uso de K. - Le Chatelier – Uso para predicción	No explícitamente. Si se da relevancia a la relación $K = f(T)$	No	Si
4	La idea de RRv aparece en Capítulo 4, asociada a la ionización del acético. Se habla aquí de RRv y de equilibrio químico, casi sin diferenciar	En Apartado 11.5 bajo el subtítulo Explicación de la presión de vapor a nivel molecular	Capítulo 15 (después de Cinética)	ED no se lo retoma ni se lo relaciona en el capítulo en el que se trata equilibrio químico.	- v directa = v inversa: se alcanza el estado de equilibrio. - K y Cálculo de K. - Predicción usando: $Q \rightarrow K$. - Le Chatelier	No	No	No

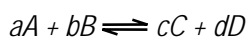
Aclaraciones: ED: equilibrio dinámico; EQ: equilibrio químico; MCM: modelo cinético molecular; RRv: reacción reversible

Tabla 1. 2. *Tratamiento del tema Equilibrio Químico en diferentes libros de texto de Química básica universitaria.*

Texto 1

Trata el tema Equilibrio Químico en el Capítulo 17, después de Cinética Química (Capítulo 16), comenzando por enunciar algunos conceptos básicos como el de reacción reversible y su correspondiente representación mediante la ecuación genérica. El concepto de reacción reversible que se trabaja allí, es pobre. Por un lado, está asociado a la idea de reacción que no alcanza a completarse y por otro, a que ocurren reacciones en ambos sentidos, pero sin aclarar la vinculación entre ambas situaciones. Tampoco se hace mención a la simultaneidad de las dos reacciones opuestas. El símbolo \rightleftharpoons se usa indistintamente para representar reacción reversible ó equilibrio dinámico.

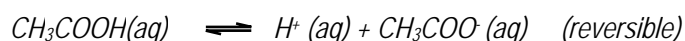
Las reacciones reversibles se pueden representar en términos generales como sigue, donde las letras mayúsculas representan fórmulas y las letras minúsculas representan los coeficientes estequiométricos en la ecuación ajustada.



La doble flecha (\rightleftharpoons) indica que la reacción reversible, es decir tanto la reacción directa como la inversa, ocurren simultáneamente. Cuando A y B reaccionan para formar C y D a la misma velocidad que C y D reaccionan para formar A y B, el sistema está en equilibrio (pp. 645).

Cabe señalar que la misma idea de reacción reversible es usada previamente en el Capítulo 4 cuando se presenta el ejemplo de la ionización en solución acuosa del ácido acético.

La ecuación de la ionización del ácido acético, CH_3COOH , en agua es típica de los ácidos débiles:



La doble flecha generalmente significa que la reacción ocurre en ambos sentidos y que la reacción directa no se completa (pp. 122).

Una concepción similar de reacción reversible, con su correspondiente representación a través de una ecuación se utiliza en el Capítulo 10, cuando se trabaja el tema ácidos y bases. La introducción al Equilibrio Químico se continúa con la presentación de una ecuación genérica de una reacción reversible (que en realidad es una ecuación de un sistema en equilibrio por el tipo de doble flecha). Inmediatamente y relacionado con esta representación aparece el concepto de equilibrio químico, presentado en términos de dos reacciones (directa e inversa) que ocurren a la misma velocidad.

Cuando A y B reaccionan para formar C y D a la misma velocidad que C y D reaccionan para formar A y B, el sistema está en equilibrio. Existe equilibrio químico cuando dos reacciones opuestas tienen lugar simultáneamente a la misma velocidad.

Lo anterior se completa con una breve introducción de la interpretación del sistema de reacción:

Cuando reaccionan las sustancias A y B, la velocidad de la reacción directa disminuye a medida que pasa el tiempo porque las concentraciones de A y B disminuyen.



A medida que las concentraciones de C y D aumentan, empiezan a formar A y B.

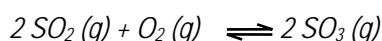


Al formarse más moléculas de C y D, pueden reaccionar más, y la velocidad de reacción entre C y D aumenta con el tiempo. Eventualmente, las dos reacciones tienen lugar con la misma velocidad, y el sistema está en equilibrio (Figura 17.1). (pp. 646)



A continuación se estudian numéricamente los cambios de concentración con el tiempo de las especies que intervienen, para un sistema de reacción que evoluciona hacia el equilibrio, que se presenta a modo de ejemplo:

Considera la reacción reversible del dióxido de azufre con oxígeno para formar trióxido de azufre a 1.500K.

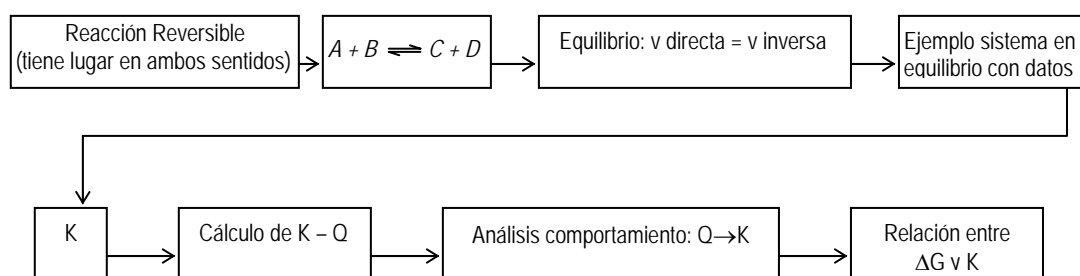


Supón que se inyectan 0,400 moles de $\text{SO}_2 (g)$ y 0,200 moles de O_2 en un recipiente cerrado de un litro. (pp. 646). (Se dan datos experimentales).

Con los datos numéricos de concentraciones de las sustancias que intervienen, se construyen las gráficas de concentración/tiempo para el sistema.

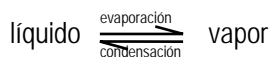
Se establece entonces la idea de constante de equilibrio utilizando un sistema genérico de reacción reversible, para el que se supone un mecanismo de reacción en una sola etapa, para llegar a establecer la forma de la ecuación matemática de la constante de equilibrio. No se aclara que esto es válido sólo para el caso de mecanismos de reacción de primer orden en una sola etapa. Con dicha expresión, se calcula la constante para el sistema $\text{SO}_2 / \text{SO}_3$ presentado antes. Define Q y su relación con K. En adelante, se dedican varias páginas al estudio de los factores

que afectan al equilibrio, tratándose por separado los cambios de concentración, de volumen y presión, de temperatura, para analizar hacia el final del capítulo los equilibrios heterogéneos, tomando como ejemplo la reacción de descomposición del óxido de mercurio (II). El antepenúltimo apartado del capítulo aborda la relación de la constante de equilibrio con ΔG^0 . La secuencia se esquematiza debajo.



Cuando en este texto se introduce el tema Equilibrio Químico, no se hace referencia alguna a la idea de equilibrio dinámico elaborada en el Capítulo 13, durante el desarrollo del tema *Líquidos y sólidos*. Allí, en el apartado *Evaporación*, se plantea una descripción a nivel molecular del equilibrio dinámico que se establece entre el líquido y el vapor, en un recipiente cerrado, a temperatura constante. A partir de ello se desarrolla el concepto de presión de vapor y se discute su dependencia con la temperatura. Se menciona el hecho de que este sistema alcanza el equilibrio dinámico sólo si se halla en un recipiente cerrado (no se aclara que también se trata de un sistema cerrado).

El sistema compuesto por las moléculas de líquido y de gas de la misma sustancia adquiere eventualmente un equilibrio dinámico en el cual la velocidad de evaporación iguala a la velocidad de condensación en el recipiente cerrado.



Las dos velocidades opuestas no son cero sino que se igualan, de ahí que llamemos a esto equilibrio "dinámico" en lugar de "estático". A pesar de que tanto la evaporación como la condensación están teniendo lugar continuamente, no tiene lugar cambio neto porque las velocidades son iguales (pp. 451).

No se aprovecha la idea de equilibrio dinámico elaborada para un sistema físico, cuando se plantea el estudio del equilibrio químico. Parecen dos ideas diferentes.

En el Capítulo 17, cuando se trata el tema Equilibrio Químico, no se menciona la condición de sistema cerrado ni la de temperatura constante como relevantes en este tipo de estudio. Sí se hace hincapié en la dependencia de K con la temperatura.

Texto 2

Trata la introducción al tema Equilibrio Químico en el Capítulo 14, después de Cinética Química. Antes, en el Capítulo 11, dentro del apartado *Cambios de fase*, describe macroscópicamente y microscópicamente el sistema que alcanza el equilibrio líquido/vapor para el caso del agua, hasta llegar al concepto de presión de vapor. Cuando se trata el tema Equilibrio Químico en el Capítulo 14, al mencionar el mismo equilibrio se hace referencia a este apartado.

La idea de reacción reversible es usada ya en el Capítulo 4, en el apartado titulado *Reacciones en disolución acuosa*, para presentar el comportamiento del ácido acético en agua y diferenciarlo de un ácido fuerte. Se habla allí de reacción reversible y de equilibrio químico, casi sin diferenciar:

La ionización del ácido acético se representa como: $\text{CH}_3\text{COOH} (\text{ac}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- (\text{ac}) + \text{H}^+ (\text{ac})$, donde CH_3COO^- se denomina ión acetato. El término ionización se utiliza para describir la separación de ácidos y bases en iones. Al escribir la fórmula del ácido acético como CH_3COOH se indica que el protón ionizable está en el grupo COOH

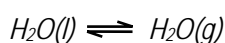
*La doble flecha en la ionización del ácido acético indica que la **reacción es reversible**, es decir, la reacción puede ocurrir en ambos sentidos. Inicialmente varias moléculas de CH_3COOH se separan en iones CH_3COO^- y H^+ . Con el tiempo, algunos iones CH_3COO^- vuelven a combinar para formar moléculas de CH_3COOH . En algún momento se llega a un estado en el que las moléculas de ácido se ionizan con la misma rapidez con que se combinan los iones. A este estado químico en el que no se observa cambio neto alguno (aunque a nivel molecular haya actividad) se le conoce como equilibrio químico. (pp. 112)*

Pueden apreciarse que además de la equivalencia que parece existir entre los conceptos de sistema reversible y en equilibrio, aparecen algunas imprecisiones y hasta parecería quedar la idea de que reversible implica primero una reacción en un sentido y luego en otro. En ningún momento se habla de simultaneidad de los procesos directo e inverso. Tampoco se usa el modelo dinámico molecular para justificar por qué ocurren ambos procesos.

De igual forma, cuando en el capítulo 14 se trata la idea de reacción reversible, se hace asociada a la representación mediante una ecuación en la que aparece la doble flecha (\rightleftharpoons) y se la utiliza sin profundizar en su significado.

En el primer apartado del Capítulo 14, se define éste como *un estado en el que no se observan cambios a medida que transcurre el tiempo, pero con la salvedad de que a nivel molecular sigue habiendo conversión entre las moléculas de reactivos y productos*. A continuación se menciona el caso de la evaporación del agua en un recipiente cerrado a determinada temperatura como un ejemplo de equilibrio dinámico.

La evaporación de agua en un recipiente cerrado a una temperatura determinada es un ejemplo de equilibrio físico. En este caso, el número de moléculas de H₂O que dejan a la fase gaseosa y regresan a ella, es el mismo:



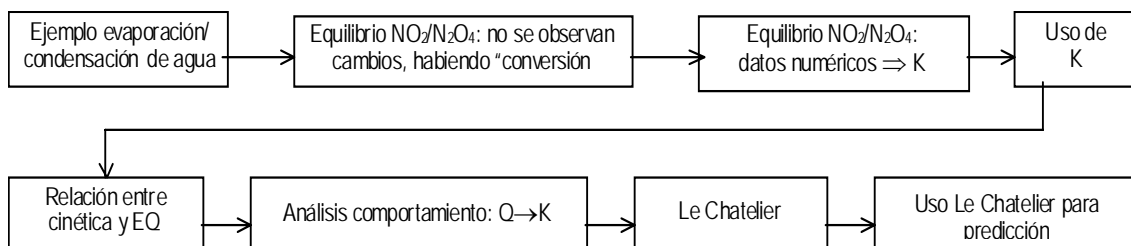
En el capítulo 4 se mostró que la doble flecha indica una reacción reversible.

El estudio del equilibrio físico proporciona información útil, como la presión de vapor de equilibrio (véase la sección 11.8). Sin embargo a los químicos les interesan en particular los procesos de equilibrio químico, como la reacción reversible que ocurre entre el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el tetróxido de dinitrógeno (N₂O₄) (figura 14.1).

(pp. 560).

Más adelante se propone estudiar el sistema químico antes mencionado, iniciándolo con una breve descripción de las propiedades de las sustancias que forman el sistema de reacción que representa como $\text{N}_2\text{O}_4(g) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(g)$, y continúa la descripción de lo que ocurre con el color del sistema, interpretando el estado en el cual el color ya no cambia, en términos de la igualdad de velocidades de los dos procesos opuestos. Con datos numéricos experimentales para este sistema, se establece la relación de concentraciones que resulta constante ($[\text{NO}_2]^2 / [\text{N}_2\text{O}_4]$) y se la denomina constante de equilibrio, para dar a continuación una definición de la constante de equilibrio para un sistema de reacción reversible genérico. Continúa el tratamiento aplicando la idea de constante de equilibrio recién desarrollada, a distintos ejemplos de sistemas homogéneos y heterogéneos.

Si bien en el capítulo de introducción del tema Equilibrio Químico se hacen algunas referencias a las condiciones de sistema cerrado y temperatura constante necesarias para que se alcance el equilibrio, estas aparecen asociadas al ejemplo inicial del sistema de evaporación/condensación de agua y no luego, en la discusión conceptual del tema Equilibrio Químico. Lo mismo ocurre con la utilización del modelo microscópico cuando se trabaja en la interpretación del equilibrio químico, en el Capítulo 14. Una secuencia más completa puede esquematizarse así:



Texto 3

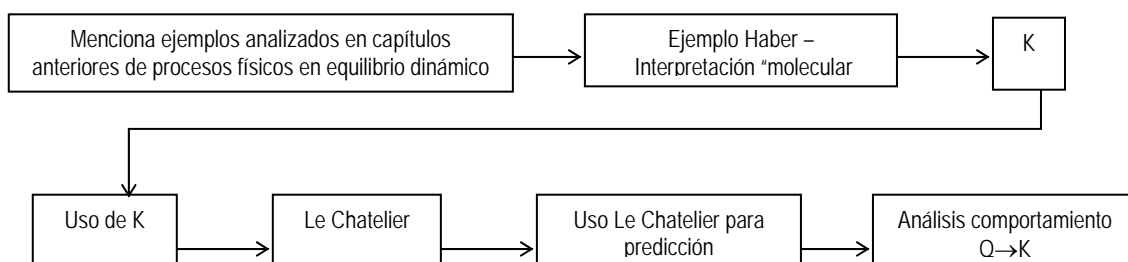
El tema Equilibrio químico se trata en el Capítulo 13, antes de Cinética Química. En la introducción el autor plantea la importancia del tema y menciona que, para su estudio, se aplican ideas semejantes a las ya analizadas para los procesos físicos que alcanzan equilibrio dinámico. En relación con ello, en el Capítulo 10, en el apartado *Presión de vapor* se utiliza el modelo de materia discontinua para introducir el concepto de equilibrio dinámico:

En un recipiente cerrado, a medida que el número de moléculas en el vapor aumenta, un mayor número de ellas chocan con la superficie del líquido. Al final, el número de moléculas que vuelven al líquido cada segundo, compensa exactamente el número de moléculas que escapan de él. En este momento el vapor condensa a la misma velocidad que el líquido se evapora. Se dice que el líquido y el vapor están en equilibrio dinámico, una situación en la que un proceso directo y su inverso tienen lugar simultáneamente a la misma velocidad (Fig. 10.49).

El párrafo hace referencia a una figura que corresponde a una representación a nivel molecular del líquido y su vapor en equilibrio dinámico. La expresión *el líquido y su vapor están en equilibrio* podría contribuir a que los alumnos desarrollen la idea de equilibrio asociada a un ir y venir entre dos estados más que a un sistema que, como un todo, ha alcanzado el equilibrio.

Retomando la descripción de lo que ocurre en el capítulo dedicado a Equilibrio Químico, luego de la introducción a la que se ha hecho referencia, se realiza el tratamiento de *La reversibilidad de las reacciones químicas* a partir del análisis de un sistema de producción de amoníaco (Proceso Haber) en el que la muestra se ha marcado con deuterio. Si bien el sistema en cuestión puede no resultar demasiado significativo para el alumno, es importante que se retome la idea de reversibilidad antes de iniciar el estudio del Equilibrio y que a partir de ello se lo interprete. Resulta interesante analizar que durante el desarrollo de este primer apartado del capítulo, se describe el comportamiento del sistema de reacción desde el punto de vista microscópico, lo cual se ilustra además con una figura (pp. 493).

En determinado momento, la composición de la mezcla en equilibrio no varía más, pero esta contiene todas las formas isotópicas del hidrógeno y del amoníaco. Esto se explica admitiendo que la reacción ocurre continuamente en ambos sentidos a igual velocidad. Se representa esta situación mediante la ecuación química correspondiente. Inmediatamente a continuación y bajo el subtítulo "La constante de equilibrio", se propone estudiar cuantitativamente lo que ocurre con las concentraciones de sustancias intervinientes en otro sistema gaseoso dado por la ecuación: $2 \text{SO}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{SO}_3 (\text{g})$. A partir del análisis de los datos proporcionados, se llega a la constante de equilibrio para este sistema y luego se generaliza para cualquier sistema en equilibrio. En el esquema se aprecia la secuencia completa seguida en el capítulo introductorio analizado. Una secuencia puede esquematizarse así:



Un apartado más adelante en *Sistemas Heterogéneos*, se retoma el ejemplo del equilibrio vapor de agua/agua líquida en un sistema cerrado. No se hace allí ninguna referencia a que este equilibrio ya había sido descrito antes en el capítulo 10, en el apartado *Presión de vapor*, donde se desarrolla la idea de equilibrio dinámico desde un punto de vista conceptual, de forma sencilla.

En este texto no se hacen referencias explícitas a las condiciones del sistema (temperatura constante y sistema cerrado) para que alcance el equilibrio, las cuales tampoco aparecen explícitamente en el Capítulo 10 cuando se desarrolla el concepto de presión de vapor, ni en el Capítulo 12 cuando se presenta el estudio del concepto de solubilidad. Sí se utiliza el modelo de materia para interpretar el aspecto dinámico del sistema en términos cinéticos.

Texto 4

El Capítulo 15 es el dedicado a Equilibrio Químico en este texto. Previamente, en el Apartado 11.5 *Presión de vapor* y bajo el subtítulo *Explicación de la presión de vapor a nivel molecular*, se introduce la idea de equilibrio dinámico con una exhaustiva descripción molecular. En algún momento el texto se refiere a *un líquido y un vapor que están en equilibrio*, lo cual podría provocar una inadecuada interpretación del sistema (líquido / vapor) como un todo, que es el que alcanza el equilibrio. Esta idea de equilibrio dinámico así elaborada, no se retoma en el capítulo en el que se introduce Equilibrio Químico.

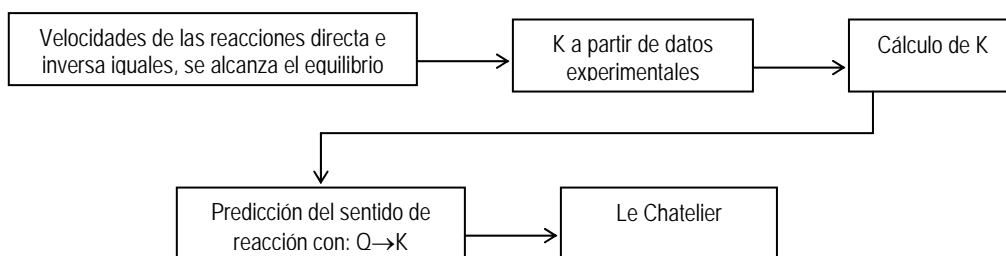
La idea de reacción reversible no aparece explícitamente como tal. En el Capítulo 4, cuando se quiere explicar el comportamiento de un ácido débil se introduce directamente la idea de que hay dos procesos que ocurren simultáneamente, sin justificarla. Se habla de equilibrio entre los dos procesos y se menciona que tiene relación con lo que se estudiará luego en el tema Equilibrio Químico.

Cuando un electrolito débil, como el ácido acético, se ioniza en disolución, escribimos la reacción de la siguiente manera:



La doble flecha implica que la reacción es significativa en ambas direcciones. En cualquier momento dado algunas moléculas de $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ se están ionizando para formar H^+ y $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$. Al mismo tiempo iones de H^+ y $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$ se están recombinando para formar $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$. El equilibrio entre estos procesos opuestos determina las concentraciones relativas de iones y moléculas neutras. Este balance produce un estado de equilibrio químico que varía para los diferentes electrolitos débiles. Los equilibrios químicos son extremadamente importantes, y dedicaremos los capítulos 15 a 17 a examinarlos a fondo. Los químicos emplean una flecha doble para representar la ionización de los electrolitos débiles y una flecha sencilla para representar la ionización de los electrolitos fuertes. (pp. 116)

El tema Equilibrio Químico, en el capítulo correspondiente, se inicia con el análisis de una reacción genérica, $A \rightarrow B$, que ocurre a igual velocidad que $B \rightarrow A$. Como ejemplo de lo planteado, se propone el caso de la reacción base del proceso Haber, que se utiliza en el apartado siguiente para ilustrar los cambios de concentración que se producen en el sistema hasta que alcanza el equilibrio y proponer una expresión genérica para la constante de equilibrio que luego la aplica al mencionado sistema y, a continuación, al sistema $N_2O_4(g) / NO_2$ para el cual, además, propone datos de concentraciones que permiten calcular la constante de equilibrio. No se mencionan, durante el tratamiento introductorio del Equilibrio Químico, las condiciones de sistema cerrado y temperatura constante. El esquema siguiente sintetiza la secuencia seguida en la introducción del equilibrio en este texto.



En general en los libros de Química General introductoria a la Universidad, el capítulo correspondiente a Equilibrio Químico está en la segunda mitad del texto, aunque la noción de sistema en equilibrio dinámico ya aparece tratada unos capítulos anteriores, en el apartado en el que se desarrolla el concepto de presión de vapor. El tema se estructura de forma tal que, la secuencia conceptual propuesta se inicia con el análisis de un ejemplo de algún sistema químico representado por la correspondiente ecuación química, a partir del cual se discute, para llegar a proponer la expresión de la constante de equilibrio.

A continuación se dan datos numéricos para calcular a partir de ellos relaciones de concentración de sustancias que intervienen, lo cual conduce en todos los casos a la constante de equilibrio. Inmediatamente se tratan las diferentes posibilidades de “perturbación” del sistema por cambios en el volumen, la presión, la concentración de las sustancias que intervienen, la temperatura. Estas situaciones se trabajan aplicando en algunos casos el Principio de Le Chatelier y, fundamentalmente, basando la discusión en el uso de la constante de equilibrio y del cociente de reacción.

Comparando lo obtenido con lo que plantea un trabajo que analiza las formas en que abordan el tema docentes de alumnos entre 16 y 18 años, de dos países diferentes, Alemania y Australia, (Treagust y Gräber; 2001) se encuentran similitudes interesantes en relación con la secuencia seguida. Se encuentra en el citado trabajo que los tres docentes expertos involucrados en el estudio, coinciden en dar a la instrucción una orientación disciplinar y a pesar de que desarrollan formas de intervención en clase diferentes y usan distintos ejemplos, la organización del contenido para plantear el tema es muy similar:

- Introducción de la idea de reacción que se da en los dos sentidos.
- Introducción de la idea de que no todas las reacciones son "completas".
- Análisis cuantitativo de la reacción para mostrar que hay una relación constante entre concentraciones de productos y reactivos.
- Interpretación de los datos para entender el significado de la constante de equilibrio.
- Interpretación de los efectos sobre el sistema en equilibrio de los cambios en los parámetros (concentración, temperatura) y la introducción del Principio de Le Chatelier.

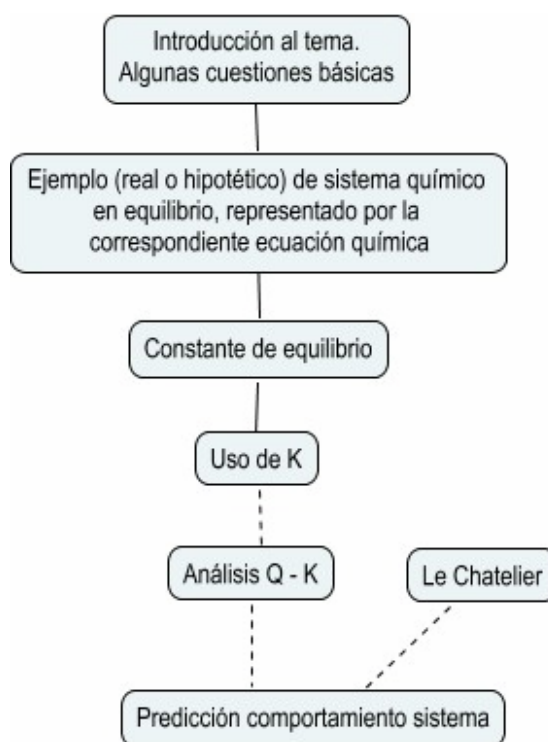


Figura 1.7. Estructura general del tema en los textos

La forma de introducción al tema que plantean los textos hace que adquiera gran relevancia la ecuación química y el aspecto cuantitativo del tema Equilibrio Químico. Parecería que se apunta más a la resolución de ejercicios que a la comprensión conceptual del tema. En relación con esto último, hay que resaltar que si bien todos los textos analizados presentan el estudio conceptual del comportamiento del sistema en equilibrio agua(l) / agua(v) sólo el Texto 3 aprovecha lo planteado sobre dicho sistema para introducir el análisis de los demás, en el capítulo referido a Equilibrio Químico. Otros dos textos sólo mencionan que se trata de un comportamiento similar y uno no hace referencia alguna al respecto. Otro aspecto que se considera relevante para la conceptualización del equilibrio son las condiciones necesarias para

que el sistema alcance el equilibrio. De los cuatro textos, en sólo uno de ellos (Texto 2) aparece una referencia explícita a ellas, mientras se introduce el tema Equilibrio Químico.

El modelo microscópico es poco utilizado en la descripción del comportamiento de los sistemas en equilibrio. Sólo en los textos 3 y 4 se hace uso del modelo en tal sentido. En los otros dos, este tipo de interpretación aparece en el capítulo que estudia el sistema en equilibrio agua_(l)/agua_(v) pero no se la usa para los sistemas que se estudian luego en el capítulo referido a Equilibrio Químico.

Se puede ver además que los diferentes textos analizados coinciden en los ejemplos que presentan. Aparecen frecuentemente, además del tradicional análisis del Proceso Haber, los sistemas de dimerización del NO₂ y la evaporación/condensación de agua. Todos ellos, pueden resultar ejemplos más o menos significativos, representativos y potencialmente útiles para la introducción del modelo científico, dependiendo del tratamiento que se dé a cada uno durante la enseñanza del tema.

El concepto de reversibilidad que se trabaja en los Textos 1, 2 y 4 es ambiguo e incompleto y se le da poca relevancia. En la mayor parte del texto se habla de reacciones irreversibles. Se mencionan las reacciones reversibles cuando se pretende introducir la idea de ácidos débiles. Una apreciación similar reportan Bergquist y Heikkinen (1990) acerca de seis textos de Química General que han analizado. El Texto 3 hace una buena introducción al concepto de reversibilidad. Algo similar, en relación con lo anterior, reportan Pedrosa y Días (2000) quienes analizan, en el contexto español, tres textos para enseñanza secundaria de la Química y uno de Química Básica universitaria, para identificar aspectos del lenguaje que pudiesen considerarse relacionados con algunas de las principales concepciones alternativas que se sabe aparecen muy frecuentemente cuando se estudia el aprendizaje del Equilibrio Químico. Los citados autores encuentran que los textos describen ejemplos de equilibrio y rápidamente saltan a las ecuaciones químicas que los representan, a la vez que se provee muy poca información sobre esa nueva representación.

1.9 Objetivos del presente trabajo

Existen, como se ha mostrado, numerosos estudios que analizan las dificultades de aprendizaje y la enseñanza del equilibrio químico. Entre ellas, aparecen variadas e interesantes propuestas de enseñanza, pero no hay muchos estudios relacionados con la puesta en práctica de dichas propuestas, y el correspondiente análisis de los resultados obtenidos con su implementación (van Driel y Gräber, 2002).

Este trabajo se desarrolla alrededor del diseño de una propuesta de enseñanza que permita la introducción del Equilibrio Químico de manera tal que el alumno comprenda conceptualmente el tema para que ello posibilite, posteriormente, la interpretación más profunda de los diferentes sistemas (ácido-base; redox; ionización).

Las primeras decisiones metodológicas que fue necesario tomar en relación con el desarrollo de esta tesis tuvieron que ver con los límites impuestos por las poblaciones disponibles. En este sentido se necesitaba encontrar grupos de aprendizaje con los que trabajar sobre Equilibrio Químico en una aproximación de tipo conceptual. En el nivel preuniversitario, como ya se comentó, es muy difícil encontrar cursos en los que se trabaje este tema. De ahí, la elección de la carrera Medicina Veterinaria, como ámbito de desarrollo de la investigación.

Se pretende que este trabajo permita hacer ajustes al diseño de una propuesta final, pensada para el nivel de una Química Básica Universitaria, que a su vez pueda adaptarse al trabajo del tema, en lo conceptual, en el nivel pre - universitario.

Se trata de un estudio interpretativo en el que se evalúa el desarrollo de una propuesta para la enseñanza del Equilibrio Químico. Para ello se realiza una intervención con la misma en un aula universitaria constituida por estudiantes de nivel básico de introducción a la Universidad, de una carrera para no químicos. Ello hace que la situación de los alumnos y los objetivos de aprendizaje puedan resultar semejantes a los del nivel previo (15 a 17 años), al cual se espera también poder ajustar la propuesta didáctica que se presenta aquí.

Más allá de la importancia que en si conlleva este trabajo, es más relevante aún si se tiene en cuenta que son pocos los trabajos que se ocupan del diseño y puesta en práctica de propuestas para ser desarrolladas en el nivel universitario básico. Parecería que los mismos alumnos,

aquellos que hasta hace unos pocos meses ocupaban el centro de atención en lo que se refiere a estudiar cómo aprenden ciencias, qué dificultades se les presentan en relación a la adquisición de conceptos, habilidades, etc., cuando inician sus estudios universitarios, ya poseen todas las capacidades y han superado todas las dificultades, de forma tal que parece innecesario preocuparse por ello.

Los objetivos centrales de la presente tesis son:

Objetivo 1 (O.1): Diseñar una propuesta para la introducción del Equilibrio Químico en un nivel básico universitario, haciendo énfasis en lo conceptual. Ello implica:

O.1.1 Realizar el análisis científico del tema

O.1.2 Realizar el análisis didáctico correspondiente

O.1.3 Determinar el conocimiento a poner en juego en la instrucción

O.1.4 Definir los objetivos de aprendizaje

O.1.5 Elaborar las actividades de aprendizaje que formarán parte de la propuesta

O.1.6 Elaborar directrices para la evaluación de los aprendizajes y de la propuesta

Objetivo 2 (O.2): Analizar en qué medida la propuesta desarrollada en el aula responde a las directrices con los cuales fue planteada.

Objetivo 3 (O.3): Analizar, para un grupo de alumnos universitarios ingresantes, que participan de la prueba piloto de aplicación de la propuesta didáctica especialmente diseñada, qué ocurre con la comprensión conceptual del Equilibrio Químico.

Objetivo 4 (O.4): Elaborar implicaciones para la enseñanza, que apunten a adecuar el diseño de la propuesta, de forma tal que resulten útiles para el trabajo del tema a nivel universitario básico (carreras no químicas), como también para los docentes que se desempeñan en el nivel educativo previo al universitario.

1.10 Estructura del trabajo

El desarrollo de la tesis se pensó en función de lo que se conoce actualmente en el campo de la investigación didáctica, como también de una concepción de enseñanza y de aprendizaje de los conceptos científicos cuyos fundamentos principales tienen relación con las ideas de Ausubel, sobre el aprendizaje y sobre la manera de pensar la enseñanza teniendo en cuenta las recomendaciones que de ella surgen acerca de los materiales y de la importancia central de las ideas de los alumnos y de su disposición por aprender. Como se mencionaba en el Apartado 1.4, el concepto de aprendizaje significativo considerado un supraconcepto, permite integrar también, con la correspondiente postura de enseñanza y de aprendizaje, otras contribuciones, algunas de las cuales subyacen ya en el contenido de las ideas de Ausubel pero que se retoman con mayor relevancia por otros autores. La perspectiva se complementa con la idea de que, un estudiante que elige aprender significativamente, esto es, hacer el esfuerzo de incorporar el conocimiento nuevo, de manera no arbitraria y sustantiva (idea que ya está presente en la teoría de Ausubel), lo hace integrando positivamente pensamientos, sentimientos y acciones, lo cual conlleva un papel aún más relevante del dominio afectivo para el aprendizaje significativo (Novak, 1988).

Por otra parte, se apunta a una postura en la que la situación de enseñanza es tal, que el docente, haciendo uso de una propuesta didáctica especialmente diseñada, presenta los significados compartidos por la comunidad científica a los estudiantes y estos devuelven los significados que han podido captar, de manera tal que el docente pueda saber qué es lo que los aprendices han "captado". Se comparten significados en el aula.

Lo que se pretende es diseñar una manera de introducir el tema Equilibrio Químico en la enseñanza, a nivel de una Química básica. Para ello se trabaja en un prueba piloto de desarrollo de una propuesta didáctica, con un grupo de alumnos universitarios y su docente. A partir de todo lo realizado previamente al desarrollo de la prueba y de los resultados obtenidos, se reelabora la propuesta didáctica y se plantean recomendaciones para la enseñanza del tema en cuestión.

Es importante recordar que uno de los motivos de este trabajo, es conseguir elaborar un material que resulte útil a los docentes y tenga impacto en su práctica.

Las etapas en las que se desarrolló el trabajo y su estructura, se resumen en el Cuadro 1.3:

Capítulo 1		
Origen y contextualización de la tesis. Análisis de los principales fundamentos del trabajo de investigación: a partir de otros trabajos de investigación, de la opinión de docentes, de lo que plantean los libros de texto.		
Capítulo 2		
O.1: Diseñar una propuesta para la enseñanza del Equilibrio Químico en un nivel básico universitario, haciendo énfasis en lo conceptual.	- Diseño de la propuesta didáctica: trabajo que estuvo guiado por la filosofía del Proyecto AcAb	
	- Diseño de los materiales didácticos	
Capítulo 3. Estrategias para la investigación de la propuesta		
¿Dónde se lleva adelante el trabajo?		Apartado 3.1.1
¿Quién es el profesor?		Apartado 3.1.2
¿Quiénes son los alumnos?		Apartado 3.1.3
<u>Instrumentos de recogida de la información</u>		
- Construcción de la prueba inicial. - Elaboración de los instrumentos de seguimiento de la propuesta. Grillas para el análisis de materiales de trabajo de los alumnos y de la filmación del desarrollo de la intervención. - Construcción del protocolo de entrevista. Propuesta de la forma de análisis de las mismas		Apartado 3.2
<u>Análisis de los datos</u>		Apartado 3.3
Capítulo 4		
O.2: Analizar en qué medida la propuesta desarrollada en el aula responde a las directrices con las cuales fue planteada.	- Indagación de las ideas de los alumnos sobre conceptos y modelos relacionados con el equilibrio químico: Prueba inicial. Análisis de los resultados para el grupo como un todo y elaboración, a partir de ello, de algunas consideraciones a tener en cuenta en la aplicación de la propuesta con el grupo.	Apartado 4.1
	- Algunas consideraciones didácticas para la aplicación de la propuesta, trabajando con alumnos ingresantes.	Apartado 4.2
	Evaluación de la implementación de la propuesta en el aula. Análisis de los datos obtenidos a partir de la observación directa y de las hojas de los alumnos.	Apartado 4.3
Capítulo 5		
O.3: Analizar, para un grupo de alumnos universitarios ingresantes, que participan de la prueba piloto de aplicación de la propuesta didáctica especialmente diseñada, qué ocurre con la comprensión conceptual del Equilibrio Químico	- Análisis de los datos obtenidos a partir de la realización de diez entrevistas, sobre el conocimiento conceptual de los alumnos al finalizar el desarrollo de la propuesta.	
Capítulo 6		
O.4: Elaborar implicaciones para la enseñanza, que apunten a adecuar el diseño de la propuesta, y resulten útiles para el nivel universitario básico (carreras no químicas), como también para docentes del nivel secundario.	Elaboración de conclusiones teniendo en cuenta lo ocurrido con el aprendizaje paralelamente al análisis de lo ocurrido con la implementación en el aula de la propuesta.	Apartado 6.1
	Elaboración de recomendaciones para los docentes, referidas al trabajo con la propuesta didáctica especialmente diseñada en el nivel previo al universitario.	Apartado 6.2

Cuadro 1.3. *Etapas de trabajo y su presentación en la Memoria de tesis*

CAPITULO 2

DISEÑO Y PLANIFICACION DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA

Una de las principales diferencias de las prácticas educativas desde una perspectiva constructivista y una tradicional, es la forma de interpretar el currículum. Desde esta última, es habitual concebir el currículum, como una secuencia fija, muchas veces guiada por el libro de texto, con temas y actividades de enseñanza, con objetivos educativos que son implícitos y que conllevan una visión del conocimiento como la verdad que debe ser aprendida.

Desde una concepción constructivista, se concibe el currículum como el punto de encuentro entre los modelos teóricos acerca de cómo se aprende y de la naturaleza del objeto de conocimiento, con la puesta en práctica de estrategias y la elaboración y utilización de materiales concretos. Consecuentemente, desde esta perspectiva, es necesario hacer explícitas las concepciones acerca de las anteriores cuestiones, como así también sobre sus interrelaciones.

En un modelo de aprendizaje en el cual los alumnos no son receptores pasivos del conocimiento sino sujetos que construyen y reconstruyen sus propios conocimientos, que generan sus propios significados, basados en sus conocimientos, habilidades y experiencias. la enseñanza de la Química deberá tener como objetivo que los estudiantes integren sus conocimientos personales con el conocimiento químico nuevo. Sobre esta base, el currículum se debería elaborar a partir de

las principales ideas conceptuales y habilidades a enseñar, las cuales están fuertemente influenciadas por el reconocimiento de la diversidad entre los alumnos. No escapan al análisis, la necesidad de una variedad de recursos para lograr el aprendizaje. Pero una de las características fundamentales que desde el punto de vista de la elaboración y el desarrollo curricular distingue a ambas perspectivas es que, desde la constructivista el énfasis se pone en lograr que los alumnos adquieran determinadas capacidades, por encima de lograr cubrir un material (Novak, 1998, p.124) o de terminar un programa, como defiende la tradicional.

Se ha adoptado en el presente trabajo, un modelo para la planificación de la enseñanza (Sánchez y Valcárcel, 1993; Domínguez, 2000) que se considera adecuado desde la perspectiva que se toma como punto de referencia para el diseño de la propuesta de enseñanza. Ésta se desarrolla a partir de dos tareas que se consideran fundamentales para la toma de cualquier decisión acerca de qué y cómo enseñar el contenido correspondiente a un campo determinado de las ciencias: el análisis científico y el análisis didáctico del contenido de enseñanza.

En la Figura 2.1 se muestra un esquema del proceso de planificación, que se inicia con el análisis científico, el cual requiere un profundo conocimiento del contenido a enseñar, tanto desde el punto de vista conceptual como de la epistemología de la ciencia. Su objetivo es doble ya que no sólo sirve de base a la estructuración de los contenidos de la unidad didáctica que se desea planificar, sino que también es una herramienta muy valiosa para que el docente trabaje en su propia actualización, a través de la reflexión que ha de hacer sobre el tema en cuestión. A partir del análisis científico es posible identificar los contenidos relevantes y organizarlos. Una manera de estructurar el contenido conceptual, es elaborar un esquema que permita mostrar no sólo los conceptos más importantes, sino también las relaciones entre ellos. También ha de decidirse, cuáles son los contenidos procedimentales más importantes y cuáles las actitudes asociadas. Todo ello representa el conocimiento que se pretende llevar al aula.

Desde el punto de vista didáctico propiamente dicho, el análisis no ha de ser menos profundo e implica considerar muchos factores que inciden sobre la enseñanza y el aprendizaje, como son: los hábitos de trabajo de los alumnos, el número de ellos, las competencias profesionales del profesor, a la vez que se tienen en cuenta las capacidades cognitivas de los alumnos. Dichas

capacidades están relacionadas con los conocimientos previos del alumno acerca del tema, como también con sus posibilidades de razonamiento y habilidades intelectuales.

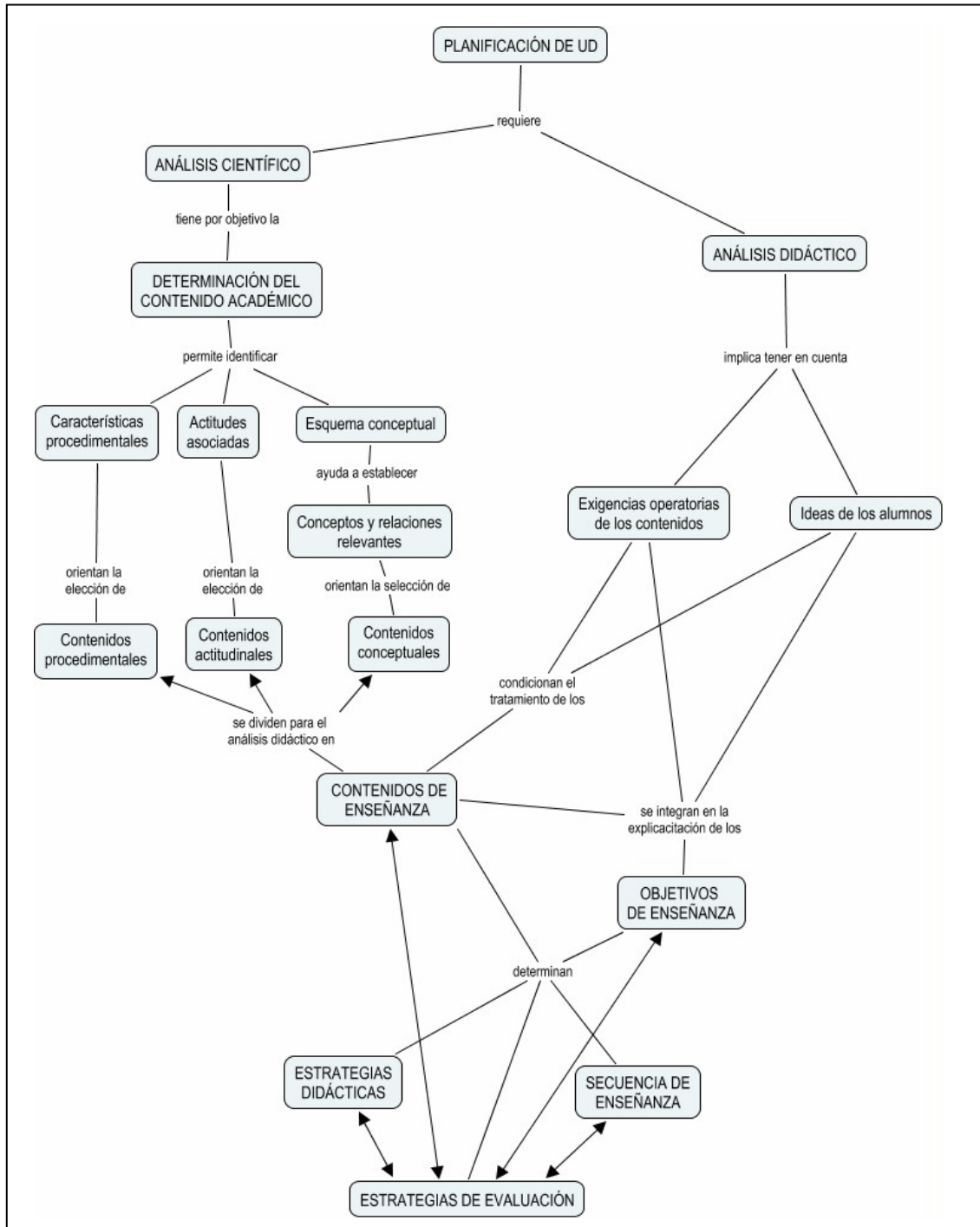


Figura 2.1. Esquema del proceso de planificación

Es importante aclarar que, lo que se entiende por conocimientos previos de los alumnos, incluye no sólo las ideas previas a la instrucción, en relación con los conceptos relevantes del tema, sino también, los conocimientos que se consideran requisitos de aprendizaje para los nuevos, aunque no se incluyan explícitamente en el desarrollo del tema a enseñar (Sánchez y Valcárcel, 1993).

Definido aquello que se pretende llevar al aula y teniendo en cuenta las principales conclusiones obtenidas del análisis didáctico, se obtienen los contenidos de enseñanza, los cuales, pueden expresarse en términos de contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales, al sólo efecto de hacer explícita la integración que implica el desarrollo de un tema determinado en el aula y la diversidad de facetas de las que ha de ocuparse la enseñanza de las ciencias.

La siguiente fase en la planificación es la selección de los objetivos, expresados estos en términos de los aprendizajes que se pretende que consigan los estudiantes, teniendo en cuenta, además de los dos análisis antes mencionados, los criterios propios del nivel educativo en cuestión y las características del perfil de formación deseado.

A partir de lo reflexionado hasta aquí, se han de elegir las estrategias didácticas para conseguir los objetivos propuestos y las estrategias de evaluación que se integren adecuadamente al proceso de formación.

Todo este análisis da la posibilidad de decidir acerca de cómo abordar un contenido determinado -esto es, con qué nivel conceptual y de qué manera presentarlo para favorecer su comprensión- pero además permite la toma de decisiones acerca de los conceptos más problemáticos, los procedimientos implicados, los objetivos de aprendizaje, las actividades a seleccionar y la evaluación, todos elementos básicos para el diseño de cualquier propuesta de enseñanza. El proceso de planificación es sin duda un intrincado camino en el que convergen los más diversos factores.

En lo que sigue de este capítulo se presenta y discute lo realizado en cada una de las etapas de planificación, en relación con el tema Equilibrio Químico.

2.1. Problemática científica. Equilibrio Químico en la ciencia

La estructura disciplinar de la Química, está dada por:

- El cuerpo de conocimiento actual de esa disciplina.
- Los procesos históricos que condujeron a ese conocimiento actual. Ello implica un análisis de la historia de la disciplina, que permite entender cómo se ha ido desarrollando en el tiempo.
- La naturaleza de dichos conocimientos y su relación con las otras disciplinas.

La interconexión de los tres aspectos anteriores da como resultado la estructura sustancial de la disciplina, la cual ciertamente está en continua evolución y se debe conocer para tomarla como base del trabajo de selección y secuenciación. Si bien los contenidos disciplinares tienen que ser una de las bases para la secuenciación de contenidos curriculares, no puede pensarse en una relación biunívoca entre ambos tipos de contenidos.

Como primer paso se propone realizar el análisis científico del tema en cuestión, como una manera de estructurar el conocimiento. Esta etapa lleva entonces a determinar los contenidos necesarios para proporcionar al alumno un esquema conceptual científico sobre el objeto de estudio que le sea útil para explicar hechos o fenómenos de una manera similar a como lo haría la Ciencia.

La elaboración del entramado conceptual involucra también el trabajo sobre ciertos procedimientos que han de permitir que el alumno adquiera conceptos y desarrolle actitudes, alcanzando así cierta autonomía en su aprendizaje. Estos procedimientos son contenidos de enseñanza que han de ser desarrollados en estrecha vinculación con el contenido conceptual a la vez que resultan mediadores del proceso de aprendizaje.

Se inicia el análisis del contenido científico con una breve reseña histórica de cómo surge la idea de equilibrio químico en la ciencia, seguida de una descripción de los aspectos que se consideran relevantes en relación con la estructura conceptual del tema, para completar la discusión haciendo explícitos los aspectos fundamentales a tener en cuenta, desde lo procedimental, en relación con el equilibrio químico.

2.1.1. Análisis histórico

La noción de equilibrio químico evolucionó en la Ciencia desde una vaga idea relacionada con la también entonces poco definida noción de afinidad química y se desarrolló como un subproducto de los estudios directamente dirigidos a la comprensión de esta última (Lindauer, 1962). La idea de afinidad como tendencia de las sustancias a combinarse, puede rastrearse ya en la ciencia del siglo XIII, pero es a principios del siglo XVIII cuando aparecen las primeras tablas construidas tomando como base trabajos experimentales. En 1718, E. Geoffroy presentó sus tablas de afinidad en las que las sustancias estaban ordenadas en columnas verticales en orden decreciente de valores. Un poco más tarde, en 1775, fue Bergman quien en su tratado titulado "De attractionibus electivis" enunció el concepto de afinidad selectiva, según el cual las combinaciones químicas podían considerarse resultado de estas afinidades selectivas, las cuales sólo dependían de la naturaleza de las sustancias que reaccionaban.

A fines de ese siglo, Berthollet introdujo una idea más amplia que, asociada a la afinidad, permitía explicar algunos resultados experimentales con reacciones que, en principio, parecían contradecir las predicciones surgidas a partir de las afinidades. Prestando atención a esos resultados experimentales, los interpretó en términos de las cantidades de sustancia. En su "Researches", hacia el final del Artículo II, Berthollet da la siguiente explicación a las reacciones químicas:

(...) la acción de una sustancia que tiende a descomponer una combinación, disminuye en proporción, a medida que avanza su saturación; esta sustancia puede, en tal caso, estar compuesta por dos partes, una de las cuales está saturada y la otra libre. La primera puede ser considerada como inerte, y como desconectada de la última, la cantidad de la cual disminuye según avanza la saturación; mientras, por el contrario, la acción de aquello que ha sido eliminado, crece en proporción al aumento de su cantidad, hasta que el equilibrio de las fuerzas contendientes finaliza la operación y limita el efecto (Lindauer, 1962).

Esta explicación incluye la cantidad de sustancia como una de las fuerzas determinantes de la reacción química y la idea de equilibrio como balance de fuerzas, análogo a la concepción mecánica.

Se inicia el siglo XIX, en los albores del desarrollo de la industria pesada. La Química surge como ciencia capaz de producir innumerables beneficios y aplicaciones. En la primera mitad de este siglo se consiguen síntesis muy importantes. La noción de equilibrio químico, no interesa a nadie. A cerca de ello, y haciendo referencia al pensamiento de Wilhelm Ostwald, uno de los primeros premios Nobel del siglo XX (1909), Bensaude y Stengers (1998) subrayan:

... la Química de la primera mitad del siglo XIX enlaza de hecho con los intereses tradicionales que hacen a la reacción química un instrumento en lugar de un fenómeno en sí... sólo interesan las reacciones completas. (pp. 67)

La Química está en plena renovación. Comienzan a notarse las primeras diferencias entre el análisis químico y la síntesis. Hay que comenzar a controlar, además de los productos, el proceso de síntesis, lo cual resulta también un requerimiento que proviene no sólo de los laboratorios químicos, sino también de las industrias. Para los especialistas en síntesis a los que se les plantea la cuestión del rendimiento de una reacción, empieza a ser fundamental una ciencia que proporcione los medios necesarios para mejorar el rendimiento de las reacciones incompletas.

En este contexto, una de las figuras destacadas en el mundo de la síntesis, Berthelot, junto a Pean de St Gilles, estudian experimentalmente la esterificación de ácido acético con etanol y muestran que la velocidad de formación del éster es proporcional a la cantidad de sustancias reaccionantes. Este puede considerarse un importante precedente para la formulación posterior de la ley de acción de masas, por Gulberg y Waage.

En esa época, la velocidad de reacción era una magnitud fenomenológica nueva. Sólo las reacciones muy lentas que encontramos en la Química Orgánica permitieron seguir la variación de las concentraciones de reactivos a lo largo del tiempo. De este modo, Gulberg y Waage pueden utilizar los resultados del estudio de las velocidades de reacción que inició Ferdinand Wilhelmy (1850) y retomaron Péan de Saint Gilles y Berthelot (1860): en cada instante la velocidad de una reacción es proporcional a las concentraciones de reactivos aún presentes en el medio reaccional; la velocidad disminuye a medida que se aproxima al equilibrio. La definición de la "fuerza química" integra el estudio fenomenológico de las velocidades y el modelo mecánico (Bensaude y Stengers, 1998, pp.184).

En 1867 Gulberg y Waage establecen el concepto de masa activa y definen la fuerza química como el producto de las masas activas.

Gulberg y Waage aplicaron sus ideas a reacciones incompletas o fácilmente reversibles, para las cuales establecieron que las fuerzas químicas... son proporcionales al producto de las masas activas de los reactantes, y el estado de equilibrio resulta de una igualdad de las fuerzas ejercidas por las reacciones opuestas. Por ejemplo, en la reacción $A + B \rightleftharpoons C + D$, la fuerza química en la reacción directa es $k(A) \cdot (B)$ y la fuerza química de la reacción inversa es $k'(C) \cdot (D)$ y la condición de equilibrio es $k(A) \cdot (B) = k'(C) \cdot (D)$, donde (A) , (B) , (C) y (D) representan las masas activas respectivas de las sustancias A, B, C y D. Las constantes k y k' fueron llamadas coeficientes de afinidad, siguiendo lo establecido por Bunsen en 1853 (Lindauer, 1962).

La idea de equilibrio químico comienza entonces a ser más relevante cuando empieza a interesar no sólo el comienzo y el fin de la reacción química, sino también lo que ocurre durante su transcurso. Esta idea aparece asociada en sus inicios a una Ley de acción de masas (Gulberg y Waage, 1867) que todavía a esa altura tiene el aspecto de una ley mecánica que propone que el equilibrio se produce cuando las fuerzas (producto de las masas activas) correspondientes a las reacciones opuestas se igualan. Se había llegado a la idea de constante de equilibrio, pero por un camino no adecuado, argumentando en términos de fuerzas y no de velocidades de reacción en direcciones opuestas.

La influencia de la mecánica newtoniana aparece a lo largo de todo este (prematureo) trabajo sobre equilibrio químico y la idea de que las combinaciones químicas son el resultado de fuerzas de atracción mutuas actuando entre los reactantes, está implícita en el término afinidad (Lindauer, 1962).

Desde otra visión y probablemente movidos por la inquietud de medir de alguna manera los coeficientes de afinidad química definidos por Gulberg y Waage, M. Berthelot y J. Thomsen proponen que el calor de reacción puede tomarse como una medida indirecta de la afinidad. El calor de reacción podría considerarse resultado del trabajo realizado por las fuerzas químicas en la reacción y por tanto, de alguna manera, podría estar reflejando la afinidad química. Surge así

el principio del trabajo máximo, según el cual, sólo las reacciones espontáneas liberan calor y el estado de equilibrio es aquel en el cual el potencial de las fuerzas químicas ha alcanzado su valor mínimo y las reacciones que llevan a él son las que implican el mayor desprendimiento de calor. Esta idea de que sólo las reacciones exotérmicas pueden ser espontáneas, será superada con la aplicación del segundo principio de la Termodinámica, base de nuestra comprensión actual del Equilibrio Químico. El precursor de esto último puede considerarse que es el físico alemán Rudolf Clausius.

De Clausius y van't Hoff a Gibbs

Clausius añade al principio de conservación de la energía en las transformaciones físico químicas, el “segundo principio”, en el que interviene una nueva función, la entropía. Estudia sistemas como el de vaporización del agua e interpreta el estado de equilibrio como aquel en que las velocidades de los procesos opuestos son tales que sus efectos se compensan, sin que las reacciones se detengan por ello (Bensaude y Stengers, 1998). Cuando Duhem intenta trasladar algunas de estas ideas a la química en su tesis doctoral en 1884, la rechazan por permitirse criticar el principio del trabajo máximo de Berthelot. Al respecto, Bensaude y Stengers (1998) comentan:

Al no haber visto nunca la luz la tesis de Duhem, es el nombre de van't Hoff (1884) el que se asocia a la ley del desplazamiento químico¹. Todavía en 1884, Le Chatelier propone, sin demostración, lo que se convertiría en un principio: la definición de la manera en que un sistema químico en equilibrio reacciona a las perturbaciones impuestas desde el exterior.(pp. 186)

Además van't Hoff demostró que su ley coincide con el principio del trabajo máximo cuando las reacciones se desarrollan en el cero absoluto. Como uno de los primeros en reconocer la naturaleza dinámica de las reacciones químicas, fue también van't Hoff quien introdujo en su libro *Études de dynamique chimique*, aparecido en 1884, el símbolo \rightleftharpoons para reemplazar el signo

¹ La medida del desplazamiento del equilibrio viene dada en términos del trabajo que habría que realizar para desplazar de forma reversible la composición química, mediante el aporte o la extracción de calor a presión constante o bien (cuando existe una fase gaseosa), mediante compresión o dilatación a temperatura constante.

igual previamente usado en las ecuaciones químicas (Laidler, 1995). La idea de que cuando un sistema está en equilibrio, tienen lugar dos reacciones que ocurren a igual velocidad en direcciones opuestas, no es original de van't Hoff, sino que había sido aceptada antes por Clausius, como una interpretación de lo que ocurre en el caso de la vaporización por él estudiada.

Esta perspectiva, permitió deducir, a partir de las velocidades de las reacciones directa e inversa, la hasta entonces aceptada ley fenomenológica de Gulberg y Waage.

A través de la consolidación de la cinética química y la termodinámica, van't Hoff dio a la ley de acción de masas una base más lógica que la que tenía (Lindauer, 1962).

Entre 1873 y 1878, el norteamericano Josiah Williard Gibbs llega a conclusiones similares a las de van't Hoff pero sobre la base de conceptos termodinámicos muy abstractos, los potenciales termodinámicos. Su mayor dificultad fue quizá, no ser capaz de hacer entendibles sus ideas, por lo que su trabajo fue poco apreciado en ese momento. En su segundo trabajo publicado en 1873 aparece una contribución muy importante que consiste en la introducción de una función de estado: la energía libre de Gibbs, que es identificada por: $G = H - T.S$. En este trabajo Gibbs planteó que la función G tiene especial significado porque la condición para el equilibrio a temperatura y presión constantes es $dG = 0$ (Laidler, 1995). Esto es, la condición para que un proceso ocurra espontáneamente es que el valor de G debe decrecer, hasta finalmente alcanzar el valor mínimo en el equilibrio.

Este relato de algunos de los sucesos históricamente más significativos en relación con cómo fueron surgiendo algunas ideas fundamentales incluidas en el estudio del Equilibrio Químico muestra a la vez cómo la física y la química estaban, hace un siglo, definiendo sus campos de acción y sus interrelaciones. Sobre ello, Bensaude - Vincent y Stengers (1998) expresan:

La cinética con la colisión de reacción, propone una conexión con la física que acentúa el realismo de los átomos y de las moléculas, y les atribuye, más allá de los fenómenos observables, la responsabilidad tanto de las propiedades de los cuerpos químicos como de las modalidades de las transformaciones químicas. Por el contrario, la termodinámica química acentúa la dimensión positivista de la química,

y la aleja de toda representación intuitiva del fenómeno químico y de sus causas, para hacer de ella una función abstracta de los parámetros manipulables. La indecisión entre estas dos perspectivas no es, además, exclusiva de la química, también está presente en la física de la época. Por este motivo podemos decir que en los umbrales del nuevo siglo la física y la química ya no son ciencias mutuamente extrañas, sino dos ciencias en la encrucijada, que se enfrentan al problema de su futuro, es decir, de su identidad.(pp. 187)

Un siglo después, una preocupación genuina con relación a cómo conseguir mejores resultados en la enseñanza de este y otros temas importantes de estudio, nos mueve a un análisis como el que se realiza aquí, con el convencimiento de que permitirá tomar mejores decisiones en la selección y secuenciación del contenido como así también en la elección de la forma de abordar este tema.

Parece importante recalcar, en relación con esto último, que la cinética aporta una alternativa de interpretación más intuitiva que la proveniente de la Termodinámica que tiene como concepto principal la entropía. Pero no podemos dejar de reconocer que una concepción de equilibrio químico no podrá considerarse acabada hasta que el alumno no haya incorporado a ella, los conceptos y leyes que, desde la Termodinámica, dan sustento teórico a este tema.

Este breve desarrollo, desde una perspectiva histórica, de cómo aparece en la ciencia la idea de equilibrio químico permite apreciar que la complejidad del tema puede considerarse producto de la interacción de los diferentes campos de la ciencia que contribuyeron a la construcción del conocimiento que se tiene hoy acerca de cómo se comportan los sistemas cuando alcanzan el equilibrio. Además puede ayudar a entender mejor la naturaleza de algunas dificultades muy características que se presentan en el aprendizaje del tema.

Entre los aspectos que se pueden señalar de la discusión anterior hay dos que se considera interesante destacar antes de continuar con el desarrollo del análisis científico objeto de estudio en esta sección:

- El trabajo con reacciones irreversibles y la necesidad que involucra el estudio de la idea de equilibrio químico de poner el interés en el análisis de lo que ocurre en el transcurso de la reacción química, más que en los estados inicial y final
- El estudio del sistema cerrado de evaporación/condensación de agua por parte de Clausius y la conceptualización en términos cinéticos que se muestra más asequible, que las reacciones químicas, como sistema en el cual analizar la idea de equilibrio dinámico.

2.1.2. Análisis del contenido científico

No resulta posible decidir acerca de cómo presentar un tema a los alumnos sin antes hacer un análisis de la estructura conceptual del mismo y de cuáles son los fenómenos más importantes que involucra. Equilibrio Químico es un tema conceptualmente muy amplio que incluye gran número de ideas y conceptos vinculados. Además, en su estudio confluyen, como se discutió antes, conocimientos provenientes de diferentes campos del saber científico, otorgándole características especiales. Para visualizar la estructura conceptual del tema, que se considera adecuada en relación con el objetivo de este trabajo, se presenta la Figura 2.2.

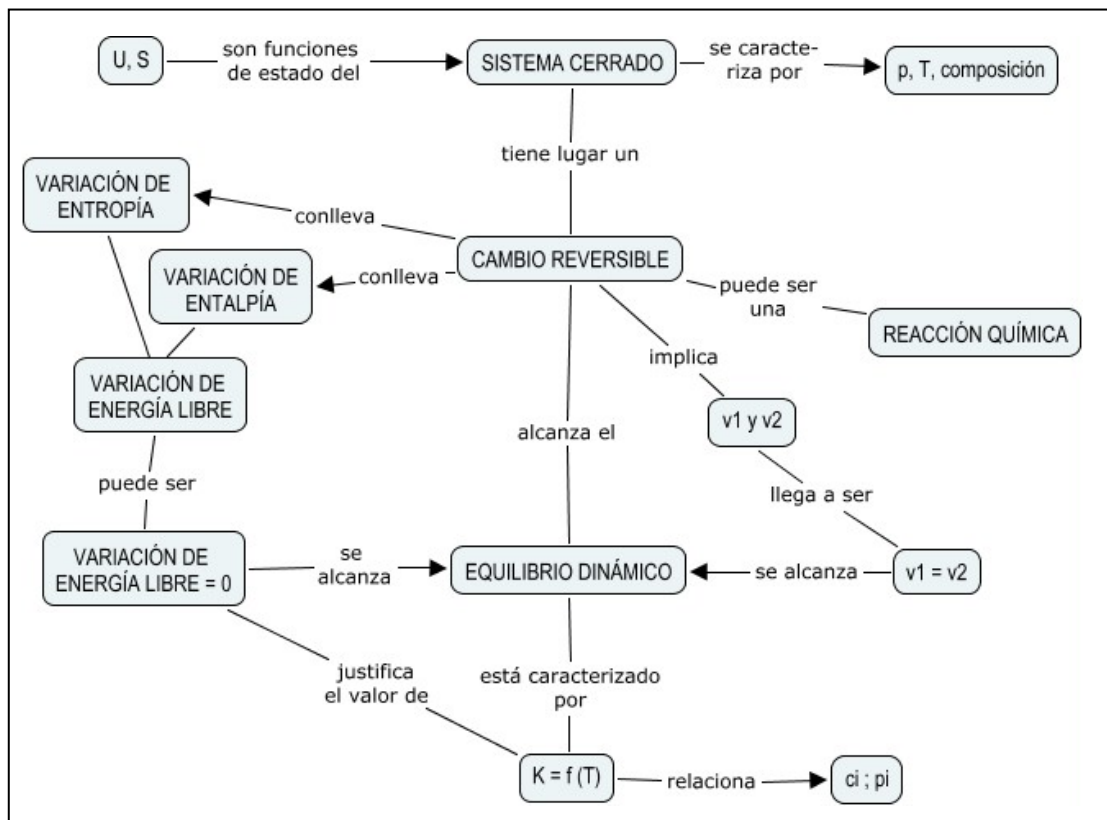


Figura 2.2 Estructura conceptual de Equilibrio Químico

En la Figura 2.2, se muestran los principales conceptos que conforman el estudio del Equilibrio Químico y sus relaciones. La idea de un sistema cerrado (masa constante), en el que tiene lugar un cambio que en un determinado tiempo alcanza el equilibrio es central en cuanto punto de partida del desarrollo del tema. A la derecha, aparecen los conceptos relacionados con el enfoque cinético, esto es, una aproximación al tema que involucra los conceptos incluidos en la interpretación del equilibrio como el estado alcanzado por un sistema cerrado a temperatura constante, en el cual ocurren dos procesos opuestos simultáneos a la misma velocidad.

A la izquierda de la figura se muestran conceptos correspondientes al tratamiento del tema desde la Termodinámica química clásica, que completan las que se consideran nociones básicas fundamentales en relación con el mismo en una Química básica.

Analizando el lado izquierdo de la Figura 2.2: el estado del sistema, determinado por su temperatura (T), presión (P) y composición, posee una energía interna (U) y una entropía (S). Tanto U como S, P, V y T, son funciones de estado del mismo. Cualquier cambio en el sistema conlleva cambios energéticos. La definición de la entalpía (H), función de estado, como $H = U + P.V$, permite, para el estudio de una reacción química, identificar el calor de reacción a presión y temperatura constantes con la variación de entalpía: $\Delta_r H = Q_r$. Dado que estas condiciones (P y T constantes) son las habituales en el estudio de las transformaciones químicas, la variación de entalpía que usualmente se presenta en tablas y gráficos está medida en dichas condiciones.

La función de estado G (energía libre de Gibbs): $G = H - T S$, permite predecir la espontaneidad de una reacción (cuando $\Delta G < 0$) y las condiciones de equilibrio ($\Delta G = 0$), a P y T constantes, sin necesidad de hacer referencia al entorno del sistema. A medida que el sistema se encuentra en estados más cercanos al de equilibrio, ΔG se hace menos negativo y llega a ser cero cuando la composición del sistema, a determinada temperatura, es la de equilibrio. Así, el sistema se halla en un estado de G mínimo.

Analizando ahora el lado derecho de la Figura 2.2: El cambio de composición, reacción química, se realiza de forma reversible. Las velocidades a las que ocurren los procesos directo e inverso que implica el cambio reversible, son v_1 y v_2 . El estado de equilibrio se alcanza entonces cuando en el sistema cerrado a temperatura constante, están ocurriendo los dos procesos opuestos

simultáneamente (cambio reversible), a la misma velocidad. La velocidad (v) de cada uno de los procesos está dada por el cambio de concentración de las sustancias que forman el sistema, en el tiempo. Este cambio ocurre además, según una relación estequiométrica de las sustancias en ese sistema.

El estado de equilibrio queda completamente caracterizado por la constante de equilibrio (K) que corresponde a una relación de las concentraciones o presiones parciales de las sustancias que forman el sistema. Se hace referencia a concentraciones o presiones parciales y no a actividades, dado que se considera que para iniciar el estudio del Equilibrio Químico es suficiente trabajar con sistemas ideales (gases ideales y disoluciones diluidas) para simplificar su tratamiento.

Sea el sistema que ha alcanzado el equilibrio: $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$,

$$K = \frac{C_C^c \cdot C_D^d}{C_A^a \cdot C_B^b}$$

En la parte inferior de la Figura 2.2, aparece la constante de equilibrio para un sistema determinado, cuyo valor, a una temperatura dada, sólo puede justificarse desde la Termodinámica y calcularse a partir de $\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln K = 0$ (en el equilibrio), una de las ecuaciones más relevantes en ese campo. De esta manera resulta posible conocer cómo influye un cambio de temperatura sobre el valor de K :

$$\ln K = \frac{\Delta S^0}{R} - \frac{\Delta H^0}{RT} \qquad \frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta H^0}{RT^2} \quad (\text{ecuación de van't Hoff})$$

(R : constante universal de los gases)

El presente análisis del contenido ha estado centrado hasta aquí en lo conceptual, pero necesariamente ha de incorporar una delimitación del contenido procedimental, característico y relevante, que tenga en cuenta que el objeto de conocimiento que se ha de poner en juego, es una porción del campo de las Ciencias Naturales. En tal sentido, los procedimientos en cuestión han de estar referidos a lo que implica hacer Ciencia, esto es, a la manera especial de comprender el mundo que es la Ciencia y, en particular, es necesario rescatar aquellos relacionados con la naturaleza del Equilibrio Químico. Apuntar concretamente a la amplia variedad de procedimientos que involucra el desarrollo de un tema tan complejo como lo es

Equilibrio Químico, lleva a que los procedimientos que aparecen con más fuerza en relación con lo que se ha planteado hasta aquí desde lo conceptual, están asociados a habilidades de razonamiento e interpretación utilizando modelos. Si se acepta que la práctica científica es una actividad compleja socialmente construida, la enseñanza de las ciencias ha de apuntar además, al aprendizaje de destrezas de razonamiento y argumentación (Duschl, 1995).

El análisis de la relevancia de los contenidos procedimentales desde la perspectiva científica está muy ligado a la problemática didáctica de la selección, tanto de los contenidos conceptuales como procedimentales. Ambas cuestiones están fuertemente relacionadas entre sí e influenciadas por las capacidades cognitivas y por lo que saben y saben hacer los alumnos, como así también, por los requerimientos del perfil de formación. En el apartado siguiente se trabaja sobre estos aspectos de manera interrelacionada, para llegar a caracterizar completamente el objeto de conocimiento a llevar al aula y los condicionantes a los que necesariamente se ha de atender en dicho proceso.

2.2 Problemática didáctica. Equilibrio químico en el aula.

Se amplía aquí la discusión sobre las particularidades propias del tema y se incluyen las que se consideran características fundamentales de los alumnos (alumnos de cursos de Introducción a la Química en la Universidad en una carrera de no físicos y no químicos y alumnos de Polimodal) para de esta manera obtener como resultado un contenido adecuado al aula, además de ciertas conclusiones que fundamenten la toma de decisión de cómo enseñarlo.

Como se dijo al inicio de este capítulo, el análisis desde el punto de vista didáctico estará centrado en la capacidad cognitiva de los alumnos en cuestión, expresada a través de los conocimientos previos del alumno sobre el tema y de sus destrezas de razonamiento y habilidades intelectuales y en las necesidades formativas propias de la propuesta educativa (nivel educativo y tipo de formación).

2.2.1 El conocimiento conceptual

A partir del análisis del contenido científico desde el punto de vista conceptual realizado anteriormente, se rescata como característica fundamental del estudio del equilibrio químico, la interacción de los diferentes campos de la ciencia que contribuyeron a la construcción del conocimiento actual. El equilibrio químico se fundamenta en relación con conceptos y principios termodinámicos, pero puede resultar difícil conseguir una conceptualización adecuada del tema, si se comienza presentándolo relacionado solamente con la entalpía y con la energía libre, ya que se trata de un campo de la ciencia en el que los alumnos, en los niveles más básicos de instrucción en ciencias, aún no han iniciado su estudio y cuya comprensión resulta difícil incluso para muchos docentes (Johnstone, 1977b). Es importante tener en cuenta que, en este caso, se trata de alumnos que hacen su primer acercamiento al tema Equilibrio Químico y cuyo pensamiento posee unas características psicológicas tales que podrían considerarse incluidos en el estadio evolutivo formal inicial (Shayer y Adey, 1984), lo cual determina un nivel de comprensión de la ciencia, que además, no es independiente del contenido. Muchas investigaciones han mostrado que aún alumnos con un nivel de desarrollo cognitivo adecuado, tienen dificultades para aprender un concepto o modelo científico determinado, dado que es necesario considerar además la influencia del conocimiento previo en relación con el tema.

Puede conseguirse una conceptualización inicial en relación con el equilibrio químico, a partir de un enfoque que permita interpretar microscópicamente algunos de los conceptos involucrados, en una aproximación que deje abierto el camino para integrar el aspecto termodinámico, más que pretender que ello ocurra proponiendo a los alumnos interpretar las condiciones de equilibrio químico en términos de funciones de estado (potenciales químicos) que se relacionan con la energía libre (G).

Tomando como base estas consideraciones, se reorienta este trabajo de análisis de los conceptos y las relaciones tal como se muestran en la Figura 2.3. Se propone trabajar en este estudio piloto realizando una aproximación desde la visión cinética del equilibrio dinámico, la cual, a su vez, se abordaría genéricamente para un cambio reversible, que en particular puede ser una reacción química. Se deja para más adelante la discusión de cómo integrar los conceptos termodinámicos al tratamiento del equilibrio químico, dado que ello requiere de un

profundo análisis de las dificultades propias de cómo se van integrando al conocimiento existente estos otros conceptos.

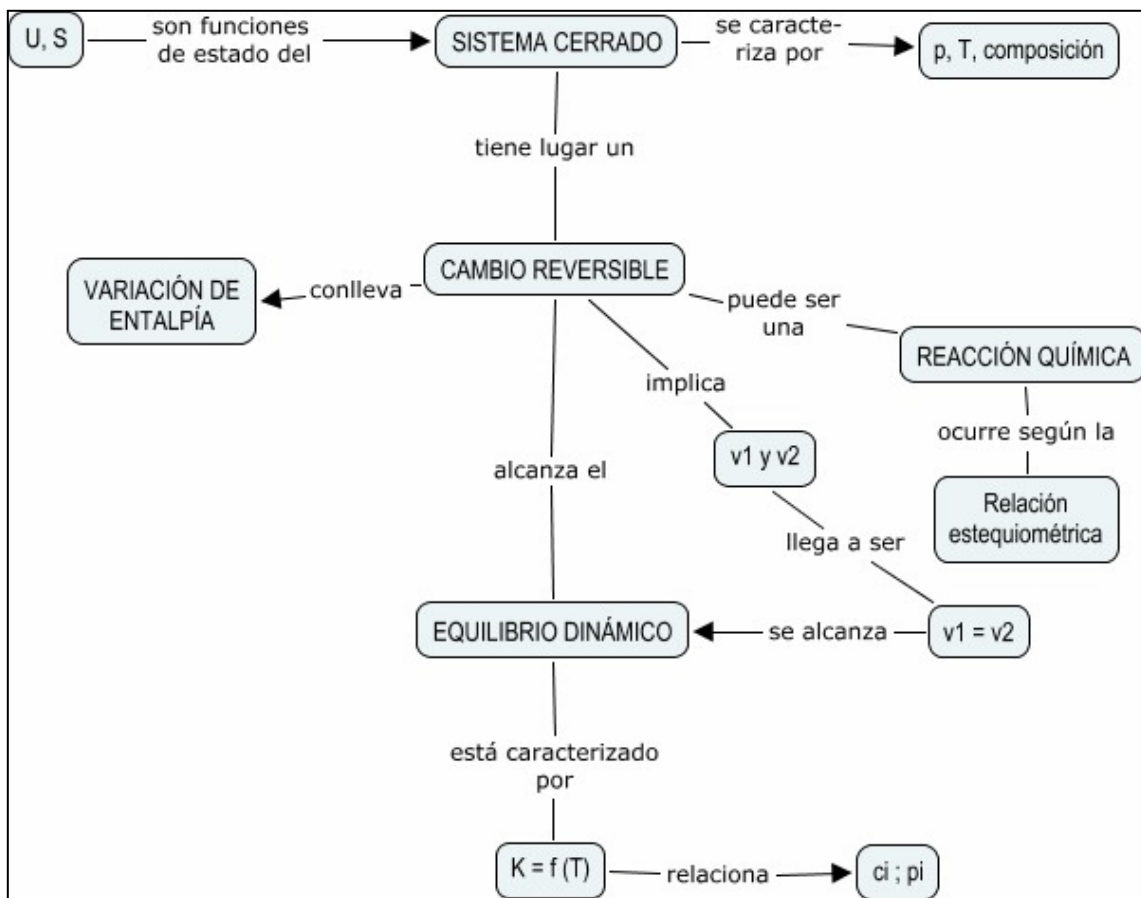


Figura 2.3 Estructura conceptual (modificada) Equilibrio

Desde una visión constructivista del aprendizaje como la que se ha desarrollado aquí, cuando se piensa la enseñanza de un tema, resulta de gran importancia no sólo el conocimiento del alumno derivado de sus experiencias anteriores en relación con el tema a tratar, sino también, los conceptos considerados fundamentales para el aprendizaje en ese campo (Domínguez, 1999). Es importante distinguir entre aquellos conocimientos previos idiosincrásicos que el alumno posee sobre un tema en particular y los que se consideran requisitos previos para el aprendizaje. Todo este conocimiento es lo que se denomina aquí, ideas previas.

En este sentido, el tema Equilibrio Químico es uno de los que implica el uso de mayor número de conceptos relacionados involucrados en su desarrollo (sistema cerrado, reversibilidad, reacción química) los cuales influirán en el aprendizaje del mismo, a la vez que se seguirán desarrollando

y ampliando su significado. Por ello resulta fundamental tener en cuenta el significado que estos conceptos tienen para los estudiantes.

Se considera que las ideas de los alumnos poseen diferentes características dependiendo, en parte, de cuál sea su origen. Así, algunas pueden considerarse elaboradas predominantemente a partir de la experiencia sensorial (concepciones espontáneas), mientras que otras resultan más asociadas al contexto social (concepciones inducidas) esto es, la familia, la escuela, los medios de comunicación. Las primeras son ideas que construimos durante el trabajo de dar sentido a lo que ocurre a nuestro alrededor, son muy útiles por su efectividad y su capacidad de predicción. Se elaboran en base a un pensamiento causa - efecto aplicado a lo que ocurre en el mundo natural, todo lo cual las transforma en ideas muy estables y difíciles de reemplazar por otras. Las concepciones inducidas pueden considerarse tanto de origen escolar como cultural en general. Con respecto al ámbito escolar, es muy importante tener en cuenta que es también una fuente de ideas alternativas, las cuales pueden resultar un escollo para posteriores aprendizajes.

Se piensa en este trabajo en un alumno que no posee ideas previas sobre equilibrio químico pero sí sobre el concepto de equilibrio –elaborado en el contexto de la Mecánica y utilizado en el contexto cotidiano- que pueden influir en el aprendizaje del tema que nos ocupa. No sería de esperar que las mayores dificultades en el aprendizaje de este tema estuviesen relacionadas con las experiencias informales previas de quienes aprenden. Equilibrio químico es uno de los conceptos sobre el que el alumno carece de ideas, por lo que para poder comprenderlo, quizá se vea obligado a activar alguna concepción útil para dar significado a la nueva idea. Puede ser que el alumno, que se halla ante un dominio en el que no posee ideas específicas disponibles, active una idea correspondiente a otro dominio que le sirva para comprender la nueva. Este podría ser el caso de la comprensión en el tema Equilibrio Químico. Si bien los alumnos no tienen ideas acerca de este tema, previas a la instrucción, sí poseen una concepción de equilibrio que han elaborado en el contexto de la Mecánica y que podría influir en el primer acercamiento del alumno al tema.

Además, Equilibrio Químico es un tema complejo, que involucra en su desarrollo muchos conceptos interrelacionados, tales como sistema cerrado, reversibilidad, reacción química, sobre

los cuales el estudiante posee ideas que necesariamente influirán en el aprendizaje, a la vez que se seguirán desarrollando y ampliando su significado

Se discute a continuación, acerca de las ideas que se consideran fundamentales en el aprendizaje de este tema, en relación con las posibles dificultades que conllevan y que aparecen con más frecuencia en la enseñanza.

Equilibrio

Muy probablemente, la idea de equilibrio que los alumnos poseen, proveniente de la Mecánica, influye en el significado que elaboran para el concepto de Equilibrio Químico. Maskill y Cachapuz (1989), en un estudio mediante WAT mostraron que, previo a la instrucción en el tema Equilibrio Químico, la mayoría de los términos que los alumnos asociaron a *equilibrio*, revelaban un significado estático para dicho término. Posteriormente a la instrucción, este significado se mantiene pero se incorporan un importante número de respuestas que le otorgan carácter dinámico. En el significado que los alumnos dan al término equilibrio, después de haber estudiado el tema, parecen coexistir dos dimensiones contradictorias: la estática y la dinámica.

En un estudio más reciente, con alumnos universitarios de Física I (Covaleda y otros, 2005), se ha identificado una variedad importante de significados que los alumnos otorgan al concepto de equilibrio. Se puede apreciar, por la diversidad de términos con que lo asocian, que el concepto de equilibrio que han desarrollado está ligado a aprendizajes anteriores, en contextos diversos. Aparece una cierta equivalencia del concepto de equilibrio con reposo o con movimiento de velocidad constante y de la idea de conservación del estado (*nada se altera, todo queda igual*).

Sistema cerrado

Desde el punto de vista termodinámico, sistema es la porción de universo que se escoge para su estudio, que consiste en cantidades definidas de sustancias específicas (Glasstone, 1978, pp. 18) y que para su completa definición es necesario fijar las variables de estado: composición, presión y temperatura (dado que el volumen resulta dependiente de las dos anteriores). Cuando se trabaja habitualmente en Química básica, se lo hace desde una visión centrada en los hechos y en las propiedades observables de las sustancias, en lugar de hacerlo desde una perspectiva

de análisis de sistemas. El alumno no se enfrenta habitualmente a tener que analizar el sistema, con sus propiedades y constituyentes característicos, en el que ocurre determinado cambio que puede interpretarse en términos de algunos conceptos y/o modelos químicos. Sino que trabaja aisladamente sobre el reconocimiento y explicación de propiedades y cambios.

En la enseñanza del Equilibrio Químico es uno de los pocos momentos en que necesariamente se desarrolla el trabajo en relación con sistemas químicos, perfectamente identificados y definidos. Muchas veces, se espera que los alumnos reconozcan fácilmente que la idea de sistema cerrado es aplicable de la misma forma al sistema gaseoso de reacción en el que ocurre el equilibrio de dimerización $\text{NO}_2(\text{g})/\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$, que a otro sistema formado por una solución de una sal en agua, contenida en un vaso abierto. Este sistema se considera cerrado dado que la variación de masa debido a la evaporación es despreciable frente a todo el sistema, mientras que el anterior, el hecho de que se trabaja necesariamente en un recipiente cerrado, no permite que haya intercambio de masa con el exterior.

Reacción química

Fundamentalmente el tema de reacción química esta íntimamente relacionado con el de sistema químico en equilibrio e influye en su conceptualización. Puede pensarse que la concepción de reacción química que el alumno desarrolla es quizá la idea previa más importante en el aprendizaje del Equilibrio Químico. Es interesante entonces analizar, cómo esta idea de reacción química va cambiando en el alumno. Stavridou y Solomonidou (1998) han desarrollado un trabajo con alumnos entre 12 y 18 años, que les permitió seguir el proceso de cambio conceptual en relación al concepto de reacción química y concluir en la existencia de tres niveles de conceptualización que se pueden describir así:

- Concepción puramente fenomenológica
- Concepción en la que se reconoce la transformación de unas sustancias en otras,
- Desarrollo de la interpretación en términos microscópicos.

En el primer nivel, las reacciones químicas se entienden no como cambios sino como eventos con manifestaciones fenomenológicas como por ejemplo, el cambio de color; en el segundo nivel, los alumnos han integrado la idea de la formación de una nueva sustancia pero en algunos

casos, el criterio para determinar que se ha formado un nuevo producto no resulta el adecuado, es decir, no involucra el concepto de sustancia pura. En el tercer nivel, en el que se encuentran las respuestas de sólo cinco de los alumnos de 18 años de la muestra, las reacciones químicas se entienden en términos microscópicos y, de este modo, resulta posible relacionar los cambios de estructura y las transformaciones fenomenológicas. Pero en este mismo estudio, se ha encontrado que sólo un alumno relaciona formación de nuevas sustancias y cambios de estructura. La mayoría de los alumnos entre 17 y 18 años se encontrarán entre los dos últimos niveles antes descritos, lo cual implicaría que son capaces de interpretar las reacciones químicas en términos de la formación de nuevas sustancias (generalmente asociado a un cambio macroscópico) (Caruso y otros, 1998) y no necesariamente relacionado con el cambio de estructura correspondiente. Esta conceptualización puede presentar además distintas variantes que es interesante conocer y analizar aquí.

Por ejemplo, se ha detectado que algunos alumnos sólo conciben la producción de una reacción química a partir de dos (ó más) sustancias reaccionantes (Caruso y otros, 1998 y Stavridou y Solomonidou, 1998). Esto quizá a causa de la fuerte incidencia de la idea de "ecuación química" sobre la idea de reacción química, que podría justificarse por el énfasis puesto, en las clases y/o en los libros de texto, en el uso de ecuaciones químicas para representar reacciones químicas y hacer cálculos estequiométricos (Nakhleh, 1992). En este nivel de conceptualización, que incluye la idea de reacción química como un proceso por el que unas sustancias se transforman en otras, hay que destacar también que posiblemente esté presente la idea de que este cambio se produce de manera irreversible dado el papel preponderante que tiene en la formación de este concepto, la experiencia de los alumnos (de su vida cotidiana y del aula), con reacciones que ocurren hasta completarse.

Hackling y Garnett (1985) asocian muchas de las dificultades para la interpretación del Equilibrio Químico que encuentran en su trabajo, a la concepción de reacción química que poseen los alumnos, particularmente, a la experiencia previa con reacciones que ocurren hasta completarse, y al énfasis dado a la estequiometría de reacción cuando se estudia el tema en clases de Química. Bergquist y Heikkinen (1990) opinan en el mismo sentido. Plantean que las formas habituales de enseñanza de la química, tales como aquellas en las que se trabaja toda la primera mitad de la asignatura con reacciones que ocurren hasta completarse, que focalizan la

atención en el trabajo con ecuaciones en las que se identifican el lado de los productos y el de los reactivos, entre otras características, están haciendo una contribución importante a la existencia de dificultades de aprendizaje del equilibrio químico. Comentan además, que en seis textos de Química General básica que han analizado, encuentran por primera vez mencionada la idea de reacción reversible, en el capítulo 5, durante la discusión de ácidos fuertes y débiles. Algo similar se ha mostrado en el presente trabajo, en el Apartado 1.8.3 a partir del análisis de cuatro textos de los usados en Argentina, en Química básica introductoria a la universidad.

En particular sobre la concepción de reversibilidad, se discute un poco más adelante en este mismo apartado, dado que hay algunos aspectos de esta idea que trascienden a su relación con la idea de reacción química.

Estos son sólo algunos de los aspectos más relevantes a tener en cuenta cuando se piensa en diseñar la enseñanza de un tema tan ligado conceptualmente al de reacción química como lo es el Equilibrio Químico. Tanto es así que van Driel y otros (1998) proponen una estrategia de cambio conceptual para el concepto de reacción química, basada en lograr, a través de la introducción del tema Equilibrio Químico, que los alumnos revisen sus concepciones de reacción química. El trabajo mencionado propone una síntesis de los aspectos del concepto de reacción química que se verían modificados con la introducción de Equilibrio Químico. Tomando como base algunos de esos aspectos y la discusión anterior en este mismo punto puede hacerse un paralelismo entre algunos aspectos del equilibrio químico y aquellas ideas sobre reacción química que es esperable que posean los alumnos y con las cuales dichos aspectos se relacionan:

Los alumnos que inician el estudio del Equilibrio Químico:	Pero, en el sistema en equilibrio, deben interpretar que:
<ul style="list-style-type: none"> - Consideran que está ocurriendo una reacción química sólo cuando observan cambios en el sistema. - Conciben las reacciones químicas como cambios irreversibles que acaban cuando no hay más sustancias reaccionantes (o al menos cuando se acaba el reactivo limitante). 	<ul style="list-style-type: none"> - Las propiedades macroscópicas no varían. - Siguen ocurriendo cambios internamente, en el sistema. - Coexisten todas las especies intervinientes. - Se producen continuamente dos reacciones opuestas simultáneas.

Durante el aprendizaje del equilibrio químico, necesariamente ocurrirá aprendizaje en relación con el concepto de reacción química, que se traducirá en un aumento del significado de dicho concepto dado por un mayor número de relaciones entre los conceptos en cuestión, una jerarquización de los mismos.

Ecuación química

Si bien ya se han comentado algunas cuestiones en relación con la idea de ecuación química cuando se discutió antes la conceptualización de reacción química, es preciso profundizar aún más ya que la idea de reacción química está fuertemente influenciada por la de ecuación química y muchas veces ambos términos son tomados como sinónimos y lo que es peor aún, se habla de reacción química y en realidad, lo único que se está haciendo es tratando con ecuaciones, sin significado químico.

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), presentes en la relación estequiométrica; pero para los alumnos probablemente representa poco más que una ecuación matemática.

Es importante que el alumno pueda llegar a reconocer que la relación estequiométrica de la ecuación química es una manera de representar, a nivel microscópico, cómo ocurre el cambio. El docente debe tener en cuenta que cuando representa reacciones químicas en equilibrio, mediante ecuaciones químicas, los alumnos pueden tener dificultad para reconocer que la ecuación química que representa la reacción da información sobre las sustancias que intervienen 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.

Concentración

Cuando se plantea la constante de equilibrio como una función de la temperatura y en términos de las concentraciones de especies intervinientes en el sistema (Figura 2.4), pueden existir dificultades asociadas a la idea de concentración que haya elaborado el alumno, ya que se

trata de una magnitud intensiva que se comporta de una manera diferente a como lo hacen las magnitudes que el alumno usa habitualmente (magnitudes extensivas). Estudios sobre el aprendizaje del equilibrio químico, como el de Bergquist y Heikkinen (1990) han encontrado que los alumnos no diferencian concentración y cantidad, esto es, usan la concentración como una expresión de cuanto material hay presente.

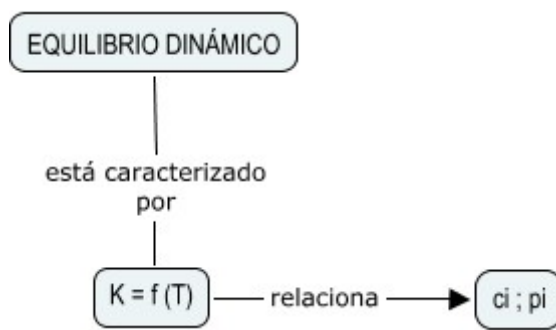


Figura 2.4

Un trabajo de Gómez Moliné y Sanmartí Puig (1996) que estudia los principales obstáculos epistemológicos asociados al aprendizaje de los temas centrales en Química, con alumnos de primer año de universidad, encuentra que para estos estudiantes, los conceptos de concentración, cantidad de materia y densidad no están suficientemente diferenciados.

El concepto de concentración es quizá poco analizado durante la enseñanza de la Química y se lo usa sin tener demasiado en cuenta si los alumnos lo han interpretado adecuadamente. A ello hay que sumarle que en el tema Equilibrio Químico, es quizá la primera vez que el alumno se enfrenta al hecho de analizar la idea de concentración aplicada a una especie condensada para interpretar que dicha concentración es independiente de la cantidad de dicha especie condensada presente en el sistema.

Reversibilidad

La idea de que un sistema cerrado en el que tiene lugar un cambio, alcanza el equilibrio, implica en primer lugar la aceptación por parte del alumno, de que el cambio pueda ocurrir en ambos sentidos, simultáneamente. Esto es, que reconozca que no es que tenga lugar un proceso en un sentido y sólo después ocurra en el sentido opuesto, sino que son simultáneos.

La aceptación de la idea de reversibilidad (Figura 2.5) es todavía más difícil cuando lo que se analiza es una reacción química si se tiene en cuenta que todavía hoy, algunos libros de texto, conservan la idea de que los procesos químicos son irreversibles mientras que los físicos son

reversibles, como criterio para diferenciar unos procesos de otros. Este criterio de diferenciación aparece frecuentemente en los libros de texto utilizados a nivel de educación secundaria, en la realidad argentina, pero también ha sido citado como una situación a considerar en otros contextos (Mammìno, 2002)

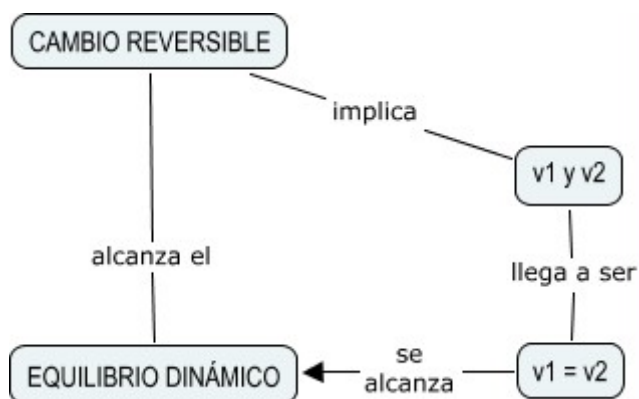


Figura 2.5

Dicha aceptación conlleva además una estrecha relación con la idea de espontaneidad. ¿Cómo un proceso que puede ocurrir en un sentido, es también factible en sentido inverso? Tampoco podemos desconocer que la espontaneidad está fuertemente asociada a la liberación de energía. 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.

Esto puede trabajarse desde la aproximación cinética (Figura 2.5), de manera tal que, el uso del modelo cinético molecular sirva para elaborar una explicación química de la reversibilidad de las reacciones y del equilibrio dinámico. Esta idea se amplía en el presente trabajo en el apartado en el que se describe la propuesta didáctica, cuando se presentan las principales ideas de la forma de introducción del tema que se propone.

Este trabajo requiere que el alumno haya aceptado el modelo dinámico de materia, que lo lleve a pensar que necesariamente, a nivel microscópico han de continuar produciéndose choques entre las partículas y estas han de continuar cambiando de naturaleza (se rompen unos enlaces y se forman nuevos), lo que conduce a aceptar que, a escala macroscópica, continúan ocurriendo las reacciones, aunque no haya cambios visibles.

El modelo cinético molecular

Como se ha mencionado, la descripción del sistema que ha alcanzado el equilibrio puede conseguirse a partir de la interpretación molecular, la cual resulta más adecuada para el nivel educativo al que nos referimos aquí. Utilizando el modelo cinético molecular, se puede lograr una interpretación 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, los procesos opuestos ocurren a la misma velocidad, por lo que, macroscópicamente, no se observan cambios en él. La comprensión de la naturaleza dinámica del sistema implica la necesidad de que el alumno conciba la materia desde el punto de vista microscópico como formada por partículas que poseen energía y que son las responsables no sólo de las propiedades de las sustancias, sino también de las transformaciones de las mismas. Para esto, resulta imprescindible que el alumno haya construido un modelo dinámico de cómo está constituida la materia que le permita interpretar los sistemas químicos en equilibrio (Pozo y otros, 1991). El alumno debería haber desarrollado o, en todo caso, continuar desarrollando durante el estudio del Equilibrio Químico, un modelo de materia que contemple los puntos antes enunciados, de manera que le sea posible utilizarlo como soporte teórico.

Los modelos sobre la estructura de la materia han sido presentados habitualmente a los estudiantes como versiones finales del conocimiento sobre la misma. Así, por ejemplo, determinados modelos químicos se presentan como copias de las moléculas reales en vez de presentarlos como representaciones (Grosslight y otros, 1991). Se puede pensar en la existencia de tres niveles de comprensión (Carr, 1984): en el primero los alumnos consideran los modelos como copias de la realidad. En un segundo nivel se considera que los modelos han sido producidos para un propósito específico con algunos aspectos de la realidad omitidos, suprimidos o mejorados. Al igual que en el primer nivel se hace más énfasis en la realidad que en las ideas que representa el modelo. En el tercer nivel se considera el modelo como construido para desarrollar ideas, más que como una copia de la realidad y los estudiantes juegan un papel activo en el uso de los modelos. Pocos alumnos demuestran una comprensión de estas características. Muchas de sus concepciones sobre modelos, como representaciones de la realidad, persisten incluso después de una instrucción explícita. Es necesario dedicarle más atención a su enseñanza y aprendizaje (Domínguez, 2000).

2.2.2 Los procedimientos

A continuación, se tienen en cuenta las capacidades cognitivas de los alumnos en relación con los procedimientos que han de ponerse en juego en el desarrollo de la propuesta didáctica. Desde una visión como la planteada hasta aquí, se espera que el alumno que aprende ciencias no sólo interprete, comprenda las leyes, principios y teorías científicas principales, sino también que adquiera una serie de habilidades, destrezas y actitudes que en conjunto, contribuyan a su desarrollo integral (Rocha y otros, 2000a). Aprender ciencias no sólo implica la construcción de nuevos significados, sino también adquirir la capacidad de razonar y argumentar sobre problemas de Ciencias (Dominguez, 2000).

Los procedimientos que aparecen asociados al trabajo conceptual que se pretende desarrollar en el marco de la propuesta son, fundamentalmente, las habilidades de uso de modelos para la interpretación y el establecimiento de predicciones a partir de él. Dada la complejidad que implica trabajar simplemente con el uso de modelos científicos para elaborar explicaciones, cabe preguntarse ¿qué requerimientos cognitivos tienen los procedimientos que están más relacionados con lo que se plantea estudiar en este tema y con los nuevos conocimientos que se pretende que el alumno construya?

Las aportaciones de Piaget acerca de la forma en la que se da la génesis del conocimiento en un individuo, resultan fundamentales. Sus estudios han dado lugar a la elaboración de una epistemología con base empírica que sustenta la idea de los estadios de desarrollo evolutivo de aplicación en la enseñanza de las ciencias. El sujeto que aprende lo hace a través de sus estructuras cognitivas, la efectividad de este aprendizaje estará condicionada por el nivel su desarrollo, es decir, por la disponibilidad de esas estructuras en un determinado momento de su vida. Se considera adecuado el uso, en esta instancia del trabajo de diseño curricular, de la taxonomía elaborada por Shayer y Adey (1984), sobre la base de los estudios antes mencionados. Esta adecuación de la demanda cognitiva de la materia al nivel de los estudiantes es un punto de partida. Las operaciones formales si bien está claro que son una condición que facilita el aprendizaje, no son la condición suficiente para tener acceso al conocimiento científico. En éste no sólo influye la estructura lógica de los problemas a resolver, sino también el contenido (Ausubel, Novak y Hannesian, 1983).

Al analizar el pensamiento de los alumnos en relación con el uso de modelos aparece, para el nivel formal inicial, en la taxonomía de Shayer y Adey antes citada: *El modelo se considera como algo verdadero, no hipotético, por tanto, en este nivel no suele darse la comparación crítica de modelos formales alternativos.*

El estudiante en un estadio de pensamiento formal inicial, considera los modelos como algo verdadero, por lo cual será necesario insistir continuamente en el aspecto funcional del mismo. Además, se sabe que los alumnos no utilizan espontáneamente el modelo corpuscular y cuando se les propone su uso, lo hacen más fácilmente en los casos en que la representación corresponde directamente con rasgos macroscópicos. Por ejemplo, la evaporación con el alejamiento de las partículas (Llorens Molina, 1991). Otro rasgo del modelo, la agitación térmica de las partículas, es fácilmente aceptada por los alumnos, también aparentemente ligada a lo macroscópico y no porque hayan elaborado un modelo corpuscular dinámico. En relación con ello, los estudiantes son capaces de aplicar un modelo para razonar sobre lo real; pero debería trabajarse sobre un sólo modelo, en el que se establezcan claramente las relaciones 1:1 entre variables. Por ejemplo: movimiento con energía cinética, temperatura con energía cinética de las moléculas y disminución de volumen con disminución de la distancia entre partículas (Domínguez, 2000).

El profesor ha de ser quien va a proporcionar el modelo a los alumnos y les enseñará a trabajar con él, demostrando su utilidad. Será necesario mostrar el interés que el modelo cinético molecular tiene como “herramienta” que permite interpretar o predecir el comportamiento del sistema, haciendo continuamente explícito el carácter hipotético del mismo.

La investigación ha mostrado que aún si los estudiantes poseen un nivel de desarrollo cognitivo adecuado para esperar que realicen aprendizajes de conceptos o modelos científicos, dicho aprendizaje no ocurre. Esto se relaciona con la otra gran dificultad a la que se ha hecho referencia: el conocimiento previo del que aprende.

2.3. Formulación de objetivos de aprendizaje

Las conclusiones de los apartados anteriores son la base de la selección de los objetivos de aprendizaje. La pregunta central en este punto del diseño es ¿cuáles son los aprendizajes que

se quieren fomentar en el alumno? Para responderla hace falta tener en cuenta que es necesario atender al contenido científico a trabajar en el aula pero fundamentalmente es el análisis didáctico el que guía la selección de objetivos adecuados al contenido y al alumno.

El desarrollo de la comprensión por parte de una persona, ocurre a medida que esta incorpora nuevos elementos de conocimiento y los relaciona con el conocimiento que ya posee. Un modelo de aprendizaje según el cual los alumnos construyen cada uno su propio conocimiento supone que durante la instrucción estos generan sus propios significados, basados en sus conocimientos, habilidades, experiencias, lo cual implica que cada uno de ellos es un receptor diferente. No obstante, se trabaja sobre la base de que las estructuras de conocimiento elaboradas serán similares. En relación con lo anterior, es muy importante tener en cuenta que los objetivos no pueden formularse en términos de resultados esperables idénticos para todos los alumnos. Sería ir en contra de la esencia de la construcción de conocimiento concebida como un proceso en el que cada uno obtiene sus propios “resultados particulares”.

Del análisis realizado en este trabajo, muchos de los problemas para el aprendizaje del equilibrio químico parecen tener que ver con que los alumnos no han interpretado conceptualmente el tema. Fundamentalmente esta conclusión es la que guía las decisiones centrales e iniciales del diseño de la propuesta didáctica que se describe en el punto siguiente. Se trata de una propuesta sustentada en una postura constructivista marcada por la interacción entre las ideas de los alumnos y las intenciones educativas del docente, para la cual el énfasis está puesto en favorecer la construcción de significados por el alumno.

Respecto del razonamiento sobre hechos y fenómenos, los estudiantes han de dar significado a sus observaciones, en términos de equilibrios dinámicos e interpretar el comportamiento del sistema, por ejemplo, ante un cambio de la temperatura. Es necesario hacer surgir en ellos la necesidad de dar alguna explicación de lo que ocurre dentro del sistema, utilizando los conceptos y modelos que se van incorporando.

Los objetivos se han formulado en términos de capacidades que se espera que los estudiantes alcancen, como consecuencia de los aprendizajes que realicen. Estos son:

1. Construir un significado de sistema en equilibrio dinámico que incluya:
 - componentes del comportamiento del sistema desde el punto de vista cinético (macroscópico y microscópico) y
 - la constante de equilibrio como propia del sistema a cada temperatura.
2. Interpretar la constante de equilibrio del sistema como función de la temperatura y en términos de la relación de concentraciones.
3. Interpretar el comportamiento del sistema en equilibrio ante un aumento / disminución de temperatura y ante otros cambios en el sistema.

Como puede observarse, la propuesta didáctica que se diseña, apunta a la conceptualización del sistema en equilibrio dinámico, sin que se pretenda aún trabajar sobre el comportamiento de los sistemas frente a perturbaciones.

2.4 Propuesta didáctica

Una comprensión acabada del equilibrio químico, como ya se comentara, requerirá del trabajo integrado de conceptos y modelos provenientes de diferentes campos del saber. En la Figura 2.6 se hace una representación de cómo una situación a estudiar, perteneciente al nivel de los objetos y eventos y que, en primer lugar se interpreta desde la Química en términos de: sistema químico, especies químicas con un nombre determinado y con propiedades características (nivel de registro empírico) puede estudiarse desde lugares diferentes, apuntando a distintos objetivos, utilizando los modelos, conceptos y procedimientos propios de diferentes áreas del conocimiento fisicoquímico.

A partir del modelo cinético macroscópico (Cinética Química) es posible justificar la ausencia de evolución del sistema, a través de la comparación de las velocidades de las reacciones directa e inversa, lo cual se traduce en que no cambian las propiedades observables. El modelo cinético microscópico (Teoría de las colisiones): los choques eficaces, las partículas cambian de naturaleza (se rompen unos enlaces y se forman nuevos), permite interpretar que una reacción química se produjo a escala macroscópica (Sánchez Piso, 2007). Pero además, este modelo microscópico, en su expresión más simple, podría resultar útil para que los alumnos aceptasen que necesariamente han de ocurrir dos procesos opuestos continua y simultáneamente.

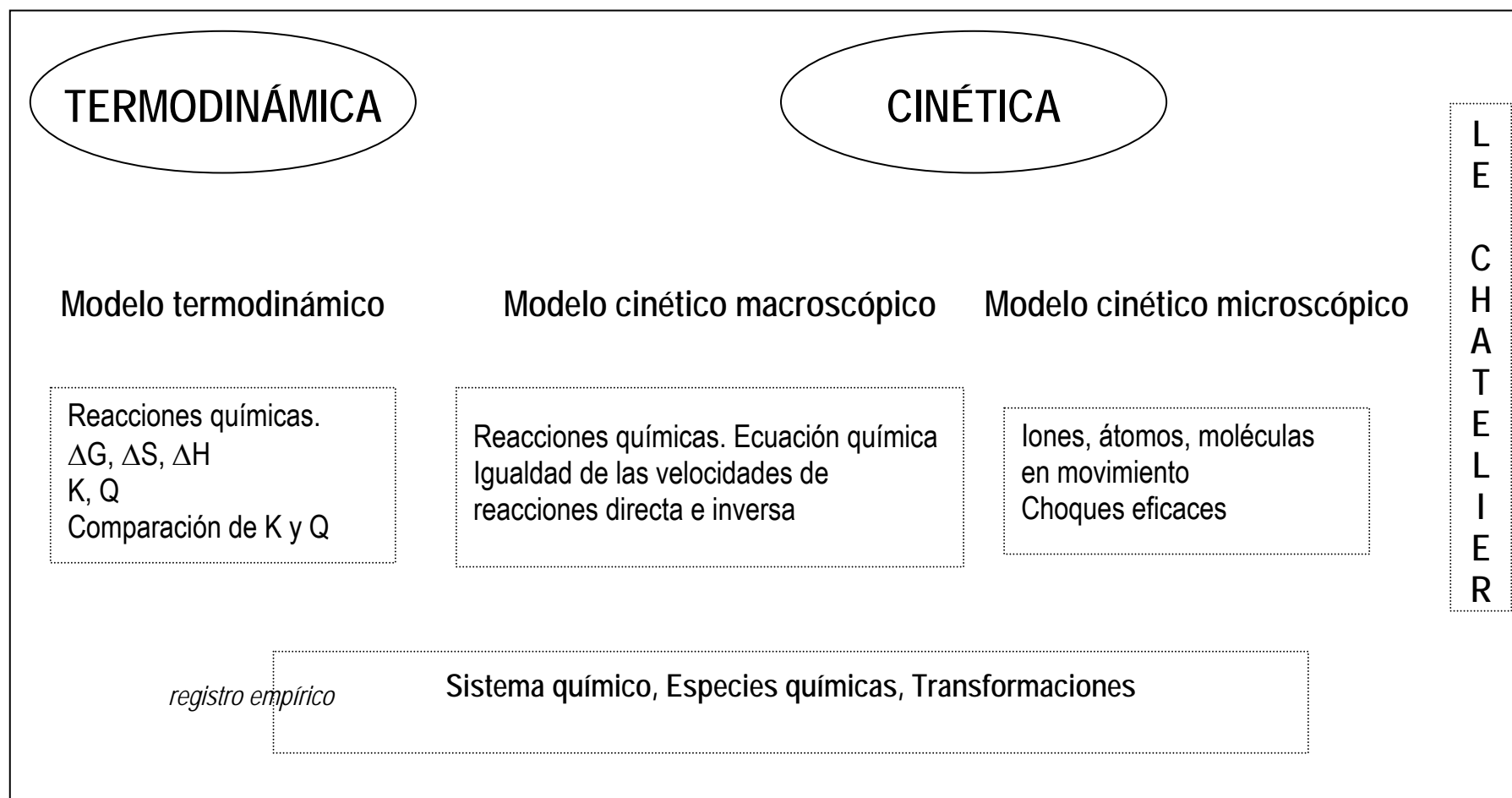


Figura 2.6. El estudio de los sistemas en equilibrio químico y la integración de conocimientos provenientes de diferentes campos, involucrados en los diferentes abordajes (adaptado de Kermen, 2005)

Otro de los posibles abordajes lo constituye el modelo termodinámico (Termodinámica de los procesos irreversibles), el cual permite justificar el estado de equilibrio. Esta vía de análisis del sistema en equilibrio no resulta demasiado adecuada para la interpretación conceptual, pero es la que completa la interpretación del comportamiento del sistema. De esta visión, cuando se analiza lo que rescatan, por ejemplo, los libros de texto de Química básica universitaria, puede apreciarse que muchas veces los elementos centrales de la discusión son la ecuación química que representa las dos reacciones (directa e inversa) y el criterio de evolución, elaborado en términos de la relación entre el cociente de reacción del sistema y la constante de equilibrio.

Se pretende en este trabajo, hacer una introducción del Equilibrio Químico, de tipo cualitativa, mediante un tratamiento cinético, que apunte a que el alumno construya un concepto de sistema químico en equilibrio dinámico (*AcAb Equilibrio Químico. Primera Parte*) que pueda complementarse luego con el trabajo sobre diversos sistemas, para analizar su comportamiento frente a cambios y que incorpore, aspectos del abordaje termodinámico.

Consecuentemente con la discusión realizada en los apartados anteriores y teniendo en cuenta los objetivos de aprendizaje, para la enseñanza del Equilibrio Químico que se han expresado, es necesario el uso del modelo molecular, asociado al discurso explicativo, que permita reinterpretar desde un punto de vista microscópico, lo que ocurre en el sistema desde la perspectiva macroscópica.

De este modo la propuesta debería:

- Incluir el punto de vista cinético que permita una adecuada conceptualización pero que deje abierto el camino para integrar luego el aspecto termodinámico.
- Posibilitar que los alumnos perciban el comportamiento microscópico del sistema.
- Fomentar la descripción del 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 que la composición permanece constante.
- Poner énfasis en el tratamiento de la reversibilidad de los cambios químicos.
- Proponer el desarrollo del análisis, basado en todo lo anterior, del desplazamiento del equilibrio al variar la temperatura
- Iniciar la discusión sobre el comportamiento del sistema ante perturbaciones, que permita continuar construyendo un concepto de sistema en equilibrio.

- Hacer explícita la esencia de la K_{eq} , como propia del sistema a una temperatura dada.
- Presentar la constante de equilibrio como relación entre magnitudes intensivas.

2.4.1. Aspectos metodológicos de la propuesta

La secuencia de actividades sobre la que se organiza la propuesta se ha realizado teniendo en cuenta que lo que se busca fundamentalmente es que los alumnos puedan incorporar en su estructura conceptual, una parte de los aspectos de la idea de equilibrio químico antes mencionados. Se pretende capacitarles para que apliquen ese conocimiento conceptual a la resolución de situaciones concretas de equilibrio químico.

La metodología didáctica de la propuesta que se presenta en este trabajo de tesis doctoral, está inspirada en la correspondiente al Proyecto Actividades Abiertas (García - Rodeja y otros, 1987 y 1994) que consiste fundamentalmente en desarrollar la enseñanza a partir de una realidad significativa para el alumno, el cual va elaborando sus interpretaciones, en gran parte aceptando los modelos que se le proponen, hasta llegar a aplicarlas a situaciones diversas.

El aprendizaje mediante Actividades Abiertas está en la línea del aprendizaje significativo, que implica que el material nuevo, objeto de aprendizaje, sea asimilado e integrado en la estructura cognitiva existente en el alumno. Las prácticas rutinarias y descontextualizadas de los problemas reales se sustituyen por secuencias de actividades que constituyen unidades de aprendizaje que se denominan *AcAb* (*Actividades Abiertas*). En relación con ello, el aprendizaje se mueve entre dos límites: el redescubrimiento significativo y el aprendizaje significativo por recepción, dependiendo de la naturaleza de los conceptos y modelos objeto de la instrucción (García-Rodeja y otros, 1988). Las Actividades Abiertas le dan oportunidad al alumno de hacer explícitas sus ideas y ser consciente de ellas y potencian lo cualitativo frente a lo cuantitativo, lo cual las constituye en un tipo de material adecuado para los objetivos del presente trabajo.

Las *AcAb* parten de realidades concretas, de hechos físicos y químicos, y se abren a otras realidades (científicas, culturales y sociales) y a los conceptos y métodos de las ciencias objeto de aprendizaje.

Desde esta perspectiva, las *AcAb* se relacionan con los dominios: afectivo, cognitivo y psicomotor, pues se pretende que los alumnos desarrollen -además de conceptos, estrategias y destrezas relacionadas con el aprendizaje de las ciencias- actitudes científicas y actitudes positivas hacia la ciencia y su aprendizaje.

Las etapas que involucra la realización de una *AcAb* comienzan con la elección de la realidad a estudiar y la identificación de sus propiedades características a través de la observación, de la búsqueda de datos e interpretación de los mismos que culminan luego en la sistematización de dichas propiedades tratando de buscar los modelos que expliquen el comportamiento del sistema y a potenciarlos mediante la generalización a otros sistemas similares y su utilización para interpretar. Las *AcAb* son *abiertas en extensión*: porque se abren en un sentido interdisciplinar tanto a la sociedad, la industria y la naturaleza como a otras disciplinas; como así también, *abiertas a distintos niveles educativos*: según el nivel de conceptualización que se utilice, una misma Actividad Abierta puede adaptarse a diferentes niveles de enseñanza.

Se propone en el presente trabajo, partir de un hecho conocido y significativo para el alumno: la evaporación del agua; un sistema sencillo de un solo componente que se habrá de interpretar utilizando el modelo cinético molecular, con la pretensión de que el alumno elabore una idea de sistema en equilibrio que pueda aplicar luego a situaciones más complejas, tanto en sus aspectos macroscópicos como microscópicos (Rocha y otros, 1997). En resumen, se propone el análisis del comportamiento macroscópico de sistemas en equilibrio dinámico y su interpretación mediante un modelo cinético (macro y microscópico). Se pretende, desarrollar una parte importante de los aspectos relacionados con la idea de Equilibrio Químico aprovechando en toda su potencialidad el análisis de un sistema sencillo, apuntando a que los alumnos puedan percibir en él, los aspectos relevantes de la idea de sistema en equilibrio anteriormente señalados. Quizá resulte posible que la idea de sistema en equilibrio dinámico que elaboren, resulte un poco menos ligada a las de reacción y ecuación química que poseen. Estas últimas son señaladas por muchos de los trabajos de investigación, como las responsables de varias de las dificultades de aprendizaje del tema. Lo anterior sin desconocer, que las citadas ideas son centrales en el estudio del Equilibrio Químico.

La propuesta didáctica parte de un hecho físico familiar para los estudiantes y se abre a otras realidades y a los conceptos, modelos y métodos de la ciencia que se consideran objeto de aprendizaje.

2.4.2 La secuencia didáctica y el material de trabajo

- *Aprender implica construir el conocimiento a través de la experiencia con el ambiente físico y a través de la interacción social.*
- *Los resultados del aprendizaje dependen, entre otros, del conocimiento previo, actitudes y metas del que aprende.*
- *Aprender ciencia no consiste simplemente en añadir algo a los conceptos existentes, sino que debe incluir una reorganización radical.*
- *Aprender no es pasivo. Los individuos son seres decididos que fijan sus propias metas y controlan su propio aprendizaje.*
- *Relacionar el nuevo conocimiento con el conocimiento previo es un proceso continuo y activo que incluye la generación, comprobación y reestructuración de ideas e hipótesis.*
- *Los significados, una vez contruidos, pueden ser aceptados o rechazados.*
- *Algunos significados que los estudiantes construyen son similares, son compartidos.*

Las anteriores son algunas de las premisas más relevantes que podrían definir una visión constructivista del aprendizaje. Desde una perspectiva como esta se han derivado determinadas secuencias de enseñanza (Ollerenshaw y Ritchie, 1997; Driver y Bell, 1986), esto es, propuestas de conjuntos de decisiones respecto de la organización de los materiales y de las actividades que tienen que realizar los alumnos, con el fin de conseguir un aprendizaje adecuado. En todas, se parte de la identificación de las ideas de los alumnos y se dan oportunidades para que los estudiantes las conozcan y las pongan en juego. Posteriormente se trabaja en su modificación, de forma tal de conseguir un enriquecimiento de las ideas y por último, se ha de apuntar a la reflexión acerca de lo aprendido y de las características del aprendizaje realizado, que lleve a la toma de conciencia por parte de los alumnos acerca de lo que saben.

La propuesta didáctica sobre la que se trabaja aquí, se puede considerar encuadrada en una secuencia que ya se ha hecho explícita en otros trabajos que utilizan la Metodología AcAb, (Domínguez, 2000; Domínguez y Pro, 2006). Se trata de una versión modificada de la propuesta por Ollerenshaw y Ritchie (1997), la cual consiste en tres fases que se describen más adelante. Es necesario aclarar aquí que en este trabajo se presenta una AcAb introductoria al tema Equilibrio Químico, que se pretende que resulte útil para que los alumnos se enfrenten por primera vez con los que se consideran aspectos conceptuales relevantes del tema, pero en cuyo desarrollo no puede esperarse que ocurra un aprendizaje acabado de los aspectos salientes del Equilibrio Químico. Dado que, como se planteó antes en este mismo trabajo, el Equilibrio Químico es un tema complejo que involucra un importante número de conceptos centrales de la Química en su desarrollo y teniendo en cuenta que los conceptos no son entes aislados sino que están relacionados unos con otros formando estructuras en las que se sustenta su significado, cambiar una idea requiere modificar necesariamente otras que forman parte de una estructura compleja y estable. Este proceso necesita tiempo y mucho y diverso trabajo sobre las mismas ideas.

Fases y tipo de actividades de la secuencia que se toma como base para la organización del trabajo en aula

Fase de exploración: En esta fase, la intención es hacer explícitas las ideas generales o hipótesis sobre un grupo de experiencias específicas o sobre información obtenida en fuentes secundarias. Los nuevos significados se han de construir a partir de los significados con los que los estudiantes llegan al aula de ciencias. Ha de trabajarse aquí en despertar el interés y orientar a los estudiantes, ayudándolos a hacer explícito y clarificar lo que piensan.

El intercambio de ideas, la realización de experiencias sencillas o la consulta de datos y la elaboración de discursos explicativos para justificar observaciones concretas hacia las que se dirige su percepción y el trabajo en pequeños grupos, donde trabajen en interacción con sus compañeros permite que se expresen más libremente y se aporte así a la construcción social del conocimiento científico, aspecto esencial a tener en cuenta en la enseñanza de las ciencias (Hodson, 1987, 1998; Duschl, 1995, 1997).

Fase de indagación: Corresponde al momento en que los estudiantes ponen a prueba sus ideas para mantenerlas, desarrollarlas o reemplazarlas. Aquí, el docente ha de intervenir para:

- Ayudar a la reestructuración del conocimiento favoreciendo que los estudiantes reconozcan el significado de lo que han percibido y cómo lo han interpretado.
- Informarles sobre las ideas clave y sobre los modelos de la ciencia escolar, enseñándoles a usarlos como fundamento de sus percepciones y de sus explicaciones

En esta etapa se ha de trabajar en el aprendizaje de técnicas y destrezas vinculadas con el hacer ciencia, tal como *la explicación utilizando modelos*. Se propone el aprendizaje de modelos que no solamente den significado a los conceptos, sino que además sean utilizados por los estudiantes para justificar los hechos y fenómenos presentados.

Fase de aplicación: Aquí el énfasis está puesto en ayudar a los estudiantes a relacionar lo aprendido, con experiencias adquiridas en su vida diaria. Se fomenta la transferencia del conocimiento aprendido a la explicación de situaciones nuevas. Esta última fase es de especial interés pues, no solamente servirá para apreciar el carácter funcional del conocimiento, sino también para contrastar y comprobar el aprendizaje.

Las AcAb pueden incluir actividades de diferentes tipos, entre ellas, se reconocen algunas que resultan muy relevantes para el aprendizaje en ciencias (Domínguez y Pro; 2006):

- Actividades prácticas: la intención educativa es que los estudiantes desarrollen tres tipos de estrategias necesarias para la construcción de conocimiento científico:

- *Observación autónoma*: los alumnos, trabajando en pequeño grupo, identifican la realidad, situación o problema objeto de estudio, a través de sus propiedades características y cambios, y construyen un discurso explicativo de los mismos.

- *Observación dirigida*: esta es una estrategia de contraste de datos, durante la cual el profesor hace explícitas las observaciones deseables para la construcción del conocimiento. Tiene por objeto la sistematización de las propiedades y cambios, de manera que se puedan confrontar los resultados obtenidos durante la observación dirigida con los que hicieron los alumnos previamente.

- *Explicación argumentativa*: el objetivo de esta estrategia de análisis de datos es que los estudiantes, con la ayuda del profesor, elaboren un discurso explicativo, fundamentado en

los conceptos y modelos de la ciencia, que les permita justificar las propiedades y los cambios del sistema objeto de estudio.

En estas dos últimas estrategias, *observación dirigida* y *explicación argumentativa*, es necesaria la intervención del profesor que, en muchas ocasiones, deberá aportar el conocimiento básico deseable y/o indicar las fuentes en las que se puede obtener. Tomando como referencia el modelo ausubeliano, se estarían desarrollando los procesos de asimilación y acomodación necesarios para que tenga lugar el aprendizaje significativo.

- Actividades de generalización o de transferencia de conocimiento a nuevas situaciones: la intención es que los estudiantes transfieran el conocimiento adquirido al estudio de casos similares y de nuevas situaciones. Ofrecen oportunidad a los estudiantes, de aplicar sus concepciones revisadas. No han de confundirse con simples ejercicios en los que no se da oportunidad de aplicar las nuevas ideas en la interpretación (Sanmarti Puig, 2002).

- Problemas y ejercicios de transformación y análisis de datos: la intención educativa es dotar a los alumnos de destrezas que les permitan transformar datos para estudiar su evolución y establecer conclusiones.

Muchas veces la misma actividad puede utilizarse simultáneamente para explorar ideas, que los estudiantes reflexionen, entre otras intenciones. También es posible volver más adelante en la secuencia, sobre actividades ya realizadas, para analizarlas desde otro punto de vista. Esto es, una actividad no es por sí práctica o de generalización, sino que dependiendo del momento de la intervención en la que se trabaje, como así también de la manera en la que se ponga en juego, puede requerir diferentes estrategias y apuntar a que se consigan distintos aprendizajes.

El material de trabajo

El material de trabajo diseñado está inspirado en el Proyecto Actividades Abiertas (AcAb). Las actividades se presentan al alumno impresas en una *hoja del alumno* (Figura 2.7). En ella aparecen en la primera columna, muy esquemáticamente, las actividades sobre las que se

propone al alumno la reflexión que le permite ir desarrollando una noción de sistema en equilibrio dinámico y aplicarla luego al estudio de distintos sistemas.



ACTIVIDAD	ALUMNO	PROFESOR
 <p>① Evaporación de agua en un recipiente abierto, a temperatura ambiente</p>		
 <p>② Evaporación de agua en un recipiente cerrado, a temperatura ambiente</p>		
<p>③ Dimerización del NO₂</p>		
<p>④ Descomposición del CaCO₃ en un horno de cal.</p> $\text{CaCO}_3 (\text{s}) \rightarrow \text{CaO} (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g})$ <p>Descomposición del CaCO₃ en un sistema cerrado.</p> $\text{CaCO}_3 (\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO} (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g})$		

Figura 2 .7. *Equilibrio Químico. Primera Parte. Hoja del Alumno.*

En esta hoja, a medida que se desarrolla cada actividad, el alumno vuelca sus observaciones e interpretaciones en una segunda columna. Esto tiene especial interés, pues sirve para la propia evaluación de la propuesta y para ir siguiendo el progreso de los estudiantes. En la última

columna se propone que el alumno anote las contribuciones que realiza el docente y o aquellas que surgen de la discusión en gran grupo.

Por razones de organización del material y de su análisis posterior, se ha dividido la descripción de la *AcAb Equilibrio Químico. Primera Parte*, en cuatro Actividades, en cada una de las cuales se trabaja sobre un sistema diferente. Hay a su vez, momentos en el desarrollo de las mismas, con intenciones educativas diferenciadas, que se diferencian para el análisis, en partes.

Se hace a continuación, con algún detalle, una descripción de cada una de las Actividades que integran la *AcAb Equilibrio Químico. Primera Parte*, tratando de mostrar el contenido conceptual involucrado y describiendo cómo se propone presentarlas a los estudiantes (alumnos ingresantes a la Universidad) y cuál es el principal objetivo que se persigue al plantear cada una de sus partes. También se incluyen algunas referencias en relación a con las ideas que se espera que activen y trabajen los alumnos y cuáles podrían resultar algunas de las “aperturas” que posibilita la AcAb.

Como la presentación de la hoja del alumno que se muestra en la Figura 2.7 resulta poco pormenorizada, se van introduciendo los detalles de la actividad, a medida que se describe el desarrollo de cada una.

En relación con las dos primeras situaciones que aparecen en la hoja del alumno (Figura 2.7) el docente puede proponerles a los estudiantes discutir acerca de lo que observarían si tuviesen esos dos sistemas a temperatura ambiente. Ambos contienen agua. El primero es un recipiente abierto y el otro, cerrado (Actividades 1 y 2). Se sugiere trabajar uno a después del otro como se describe a continuación.

Actividad 1. Evaporación del agua en un recipiente abierto (a1)

La intención de esta actividad es analizar, en un sistema sencillo, cómo ocurre el proceso de evaporación, sobre el cual se sabe que los alumnos poseen ideas alternativas a la científica y no han desarrollado una interpretación desde la fisico-química que les resulte asequible y útil. Se sugiere utilizar el modelo cinético-molecular para su interpretación.


Descripción de la actividad y de su desarrollo

Se propone plantear primero a los alumnos el análisis de la evaporación en el sistema abierto e instarlos a que den una explicación de ello, utilizando el modelo cinético molecular. Se trabaja en pequeños grupos, en la identificación de la situación a analizar (observación autónoma). Este momento de la intervención es uno de los que puede aprovechar el docente para la toma de datos, en relación con las ideas de los estudiantes y de su predisposición y posibilidad de utilizar conceptos y modelos científicos para elaborar explicaciones.

Una vez que han discutido en pequeños grupos y expresado las interpretaciones correspondientes en las hojas, se hace una puesta en común y se comparten las diferentes ideas surgidas para llegar, con la ayuda del docente, a dar una explicación, utilizando el modelo cinético molecular, que les permita justificar las propiedades y los cambios del sistema correspondiente a esta actividad (explicación argumentativa).

No debería resultar extraño que algunos alumnos muestren dudas acerca de si a temperatura ambiente está ocurriendo la evaporación. Esta es una dificultad que hay que tener en cuenta para, de resultar necesario, enfrentar su resolución. Esto da lugar a discutir sobre un hecho que les es cercano y significativo, en términos de un proceso endotérmico y espontáneo a temperatura ambiente. Insistir sobre cómo puede explicarse este cambio, utilizando el modelo cinético molecular (*Las moléculas en la fase líquida se mueven continuamente. Aquellas que alcanzan la superficie del líquido y poseen energía suficiente escapan y pasan a formar parte de la fase gaseosa*) deja abierto el camino para la interpretación de los cambios que se estudian más adelante en la propuesta, a la vez que permite explicar, en términos moleculares, lo que se entiende por velocidad de evaporación y cómo esta varía a diferentes temperaturas.

A continuación se resumen algunos de los aspectos conceptuales que es posible trabajar a partir del análisis de este sistema sencillo:

① Evaporación del agua en un recipiente abierto, a temperatura ambiente		✓ evaporación (modelo molecular) ✓ energía de las moléculas ✓ velocidad de evaporación = f (T) ✓ proceso endotérmico, $\Delta H_{\text{vap}} > 0$
---	---	--

Actividad 2. Evaporación del agua en un recipiente cerrado (a2)

El sistema de evaporación / condensación de agua aparece en muchos textos, como un ejemplo de sistema en equilibrio dinámico, para explicar el concepto de presión de vapor utilizando el modelo cinético molecular y plantear su dependencia con la temperatura. En este caso se propone su utilización para desarrollar una parte importante de los aspectos relacionados con la idea de equilibrio dinámico, de manera que el alumno elabore un modelo de sistema en equilibrio dinámico, que resulte luego aplicable para iniciar el estudio del equilibrio en los sistemas químicos.

Esta segunda actividad consta de cuatro partes, cada una de las cuales tiene su propia intención educativa.

Descripción de la actividad y de su desarrollo

Actividad 2. Parte 1. Descripción e interpretación del sistema (a2-1)

Se propone plantear a los alumnos el análisis de la evaporación en el sistema cerrado, de la misma forma en que se trabajó con el sistema abierto. Esta propuesta enfrenta una vez más a los estudiantes con la necesidad de exponer lo que creen que observarían e intentar interpretarlo utilizando un modelo de materia (observación autónoma). Esto puede llevarlos a decidir que en el sistema ocurre evaporación hasta un cierto momento después de que el sistema se ha cerrado, y luego aparentemente el proceso se detiene.

Es posible que surjan diversas interpretaciones que intenten explicar por qué ocurre esto. La intervención del docente puede ayudar a los alumnos, proponiéndoles que elaboren una explicación, utilizando el modelo cinético molecular. ¿Cómo puede explicarse que la evaporación se detenga si las moléculas, en el modelo que estamos utilizando, están en continuo movimiento? Con la reflexión acerca del aspecto energético de las partículas que forman parte de ese sistema (teoría cinético - molecular), puede lograrse una interpretación más adecuada de la observación (observación dirigida).

La explicación que se intenta que compartan consiste en postular que continuamente hay moléculas que están escapando del líquido y pasando a la fase gaseosa, mientras que a su vez,

también continuamente, hay moléculas del gas que chocan contra la superficie del líquido y quedan retenidas en él. Esto es, están ocurriendo dos procesos opuestos y simultáneos, la evaporación y la condensación. Si el número de moléculas por segundo, que pasan de la fase líquida al gas, es igual al número de moléculas por segundo, que pasan del gas al líquido, ambos procesos ocurren a igual velocidad y por tanto no se observan cambios aparentes en el sistema (explicación argumentativa).

Se trabaja hasta aquí la idea de que el hecho de que las propiedades observables del sistema no varíen, puede interpretarse, a nivel molecular, como que está ocurriendo un cambio de características tales que involucra dos procesos opuestos (evaporación y condensación) que suceden continua y simultáneamente a igual velocidad. Es importante a esta altura de la intervención, aclarar que esta situación ocurre, a temperatura constante, en un sistema cerrado, esto es, en un sistema en el que no hay variación de la masa. El sistema cerrado ha alcanzado el equilibrio. Un equilibrio cuyas principales características pueden parecer incluso contradictorias: macroscópicamente no hay cambio pero a nivel microscópico la actividad molecular le otorga carácter dinámico.

Se puede discutir entonces la reversibilidad (simultaneidad de los procesos de evaporación y condensación). Esto permite a su vez, ampliar la explicación dada a la situación anterior, en el caso del sistema abierto. En tal tipo de sistema, el espacio existente sobre la superficie del líquido es ilimitado, por tanto existe una muy baja probabilidad de que las moléculas de la fase gaseosa choquen contra la superficie del líquido, más aún, éstas se difunden en el aire y por tanto, la velocidad de condensación es muchísimo menor que la de evaporación, razón por la cual, el líquido termina por evaporarse completamente.

A esta altura de la intervención, el docente introduce la ecuación $\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_{(g)}$ como otra forma de representación. Sobre esta representación y la del sistema en el que sólo ocurre evaporación, se pide a los alumnos que hablen acerca de lo que cada una representa (PTAD).

Actividad 2. Parte 2. Presión de vapor (a2-2).

En la segunda parte de esta actividad (a2-2) se pretende trabajar el concepto de presión de vapor. Es el docente quien introduce esta idea, pero lo hace a partir de las ideas de los alumnos

acerca del sistema que ha alcanzado el equilibrio, esto es, aquel en el que el vapor condensa a la misma velocidad que el líquido evapora. El número de moléculas por segundo, que pasan de la fase líquida al gas, es igual al número de moléculas por segundo, que pasan del gas al líquido, ambos procesos ocurren a igual velocidad y por tanto no se observan cambios aparentes en el sistema. Se trata de un equilibrio dinámico, esto es, el sistema está continuamente en actividad. Ello hace posible que el sistema responda ante cambios que se produzcan en alguna/s de sus condiciones, lo cual se trabaja más adelante.

Se pueden incorporar aquí como material para apoyar la discusión tablas de presión de vapor de agua en función de la temperatura, para analizar la variación de la presión de vapor con la temperatura.

Lo analizado se utilizará luego para la concreción de la a2-3, en la que se pretende que los alumnos interpreten el efecto que tiene el aumento de temperatura sobre el sistema, en términos del modelo cinético molecular.

Puede ser este un buen momento para presentar al alumnado determinadas *Actividades de Generalización* (Domínguez y Pro, 2006), mediante las que se pretende que se transfiera el conocimiento adquirido hasta aquí, al estudio de nuevas situaciones problemáticas (Actividad 2. Partes 3 y 4). De ésta manera, se pone de manifiesto la utilidad del conocimiento en la explicación e interpretación de otros fenómenos.

Actividad 2. Parte 3. Cambios en la temperatura del sistema (a2-3)

El docente podría proponer entonces pensar, en relación con el sistema en estudio:

*¿Que ocurre en el sistema que ha alcanzado el equilibrio a una temperatura dada,
si se aumenta la temperatura?*

El objetivo es que los alumnos comiencen a utilizar la idea de equilibrio dinámico que están elaborando para predecir el comportamiento del sistema ante determinado tipo de perturbaciones en él. Pero además, permite seguir desarrollando y profundizando diferentes aspectos de la concepción de sistema en equilibrio e introducir la idea de una constante característica del sistema a determinada temperatura.

Los alumnos podrán predecir qué creen que ocurrirá e intentar interpretar sus predicciones utilizando explicaciones a nivel molecular. Lo que ocurre puede interpretarse como que, al principio, el aumento de energía se traduce en mayor número de moléculas por segundo, de la fase líquida, con energía suficiente para pasar a formar parte de la fase gaseosa (mayor velocidad de evaporación) y también, mayor energía cinética media de las moléculas que integran la fase gaseosa. En esta situación, a medida que aumenta la concentración de las moléculas en la fase gaseosa, también se hacen más probables los choques de éstas con la superficie del líquido, aumenta así también la velocidad de condensación hasta que finalmente se hace nuevamente la velocidad de evaporación igual a la de condensación. Se ha alcanzado el equilibrio. Cabría preguntarse aquí qué ha ocurrido con la presión de vapor.

A temperatura constante, la presión de vapor para el sistema en equilibrio $\text{H}_2\text{O}(\text{l})/\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ es una constante característica de dicho sistema. $p_v = n_{\text{gas}}/V_{\text{gas}} = K$ (n_{gas} : número de moles de gas y V_{gas} : volumen). Al cambiar la temperatura cambia la presión de vapor (acerca de ello se tiene información que proviene de las tablas antes analizadas); “cambia la constante que caracteriza a ese sistema”. Esta última idea habrá que retomarla para ampliar su significado en varias oportunidades.

Actividad 2. Parte 4. otros cambios en el sistema (a2-4)

Otra pregunta para que los alumnos aplicasen el conocimiento y revisasen sus ideas, podría ser:

¿Qué ocurriría si, en el sistema, a temperatura constante, el volumen del recipiente ocupado por el gas, se reduce a la mitad?

Deberían ser capaces de elaborar explicaciones en las que contemplen que: Al principio hay mayor número de moléculas en el gas por unidad de volumen, por lo cual la presión de vapor tendrá un valor mayor al correspondiente al equilibrio. Pero también es mayor el número de choques entre las moléculas y con la superficie del líquido entonces habrá más condensación, hasta llegar un momento en el que se restablece nuevamente el equilibrio. El sistema recupera el estado de equilibrio, esto es, el estado en que ambos procesos, evaporación y condensación, ocurren a igual velocidad y la p_v ($p_v = f_c(n_{\text{gas}}/V)$) recupera el valor correspondiente a esa

temperatura. El sistema ha “reaccionado” ante una perturbación y retornado al estado de equilibrio.

¿Qué ocurriría si, en el sistema, a una temperatura determinada, se coloca inicialmente una masa de agua líquida diferente?

Puede también proponérsele a los alumnos discutir lo que ocurre a una temperatura determinada, si trabajamos con dos recipientes iguales, en los que se ha colocado inicialmente una masa de agua líquida diferente en cada uno de ellos.


La aplicación de la idea de que, alcanzado el equilibrio a una temperatura determinada, la presión de vapor será siempre la misma, lleva a concluir que el número de moles de gas por unidad de volumen permanece constante a temperatura constante, independientemente de la masa de agua líquida o gaseosa presentes en el sistema. Es interesante destacar aquí que el sistema alcanza el mismo estado de equilibrio, caracterizado por la presión de vapor, sin importar las condiciones iniciales. El análisis de esta situación se puede retomar más adelante después de discutir, en la Actividad 4, el rol de la presencia de una fase condensada en un equilibrio.

Otra actividad de generalización que podría proponerse:

¿Cómo explicaría que un charco se seque más rápidamente cuando hay viento?

Puede discutirse aquí, por ejemplo, una situación que supone un sistema abierto como el planteado o similar, en el que se considera que el agua de la superficie forma, con el vapor con el que se halla en contacto, un sistema cerrado que alcanza el equilibrio, cuyo comportamiento puede modificarse si se abre el sistema eliminando más rápidamente el agua vapor, por ejemplo, por acción del viento. Una situación similar se plantea más adelante vinculada a la producción de cal en un horno. Ambas situaciones, además de constituir aperturas interesantes en relación con las cuales proponer a los alumnos aplicar el conocimiento elaborado, permiten discutir la idea de sistema cerrado.

A continuación se resumen algunos de los aspectos conceptuales que es posible trabajar a partir del análisis del sistema propuesto en esta Actividad 2.

<p>② Evaporación del agua en un recipiente cerrado, a temperatura ambiente</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sistema cerrado ✓ Macroscópicamente no se observan cambios en el sistema ✓ Evaporación y condensación simultáneas a igual velocidad (modelo) ✓ $p_v = f(T)$; $p_v \neq f(\text{masa agua})$ ✓ Coexistencia de las dos fases en el recipiente. ✓ Interpretación de la información dada por $\text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(g)$
--	--

Hasta aquí se trabaja con un sistema sencillo de evaporación/condensación de agua, con el objeto de que el alumno pudiese iniciar así la construcción de una noción de sistema en equilibrio dinámico. Ahora se propone, para continuar con la construcción del significado de sistema en equilibrio dinámico, trabajar con un sistema homogéneo formado por $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$.

Actividad 3. Sistema en el que ocurre dimerización del NO_2 (a3)

Esta tercera Actividad consta de tres partes. Lo que se pretende fundamentalmente en esta actividad, es que los alumnos:

- Reflexionen acerca de las observaciones que realizan, utilizando el conocimiento teórico disponible (equilibrio dinámico, relación entre estructura y propiedades) que les lleve a reelaborar sus ideas sobre sistema en equilibrio dinámico y aplicarlas a un sistema químico.
- Trabajen integradamente los tres niveles (macro, micro y simbólico) de representación e interpretación aprovechando dicho trabajo para aclarar algunos conceptos que se considera que les resultan dificultosos como el concepto de concentración.
- Interpreten el concepto de constante de equilibrio, a una determinada temperatura, como una relación de concentraciones de las sustancias intervinientes

Se trata de un sistema que probablemente no resulte tan familiar al alumno pero que puede resultar significativo en cuanto es un sistema sencillo de representar químicamente y de describir molecularmente. Además, es uno de los que frecuentemente aparece como ejemplo en la

bibliografía para la enseñanza del tema. A esto hay que agregarle que este sistema presenta algunas dificultades para su interpretación a partir de la observación (colores / desplazamiento del equilibrio), que resulta interesante discutir, como se hace más adelante, para al menos, tener en cuenta a la hora de presentarlo a los alumnos

En las observaciones que se realizan, se estima la concentración de NO_2 y de N_2O_4 presentes, por la coloración más o menos marrón rojiza del sistema. Si bien esto permite ver lo que ocurre, cómo se modifica el equilibrio, por ejemplo al variar la temperatura, no siempre la modificación del color responde sólo al desplazamiento del equilibrio. Por ejemplo, si lo que se pretende mostrar es, como lo proponen algunos textos, el desplazamiento del equilibrio ante un cambio de presión provocado por una variación de volumen del sistema gaseoso. Tenemos el sistema $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$ que ha alcanzado el equilibrio a temperatura ambiente, contenido en una jeringa y observamos entonces que tiene un color pardo. Apretamos el émbolo para aumentar la presión del sistema gaseoso. ¿Qué esperamos ver? La respuesta más inmediata es que si aumenta la presión, el sistema se desplaza en el sentido de una mayor producción de N_2O_4 , que se traduce en la disminución de la concentración de NO_2 . Podría pensarse que deberíamos ver que el sistema se aclara. Pero en realidad el sistema se oscurece. El aumento de la presión se consiguió en el sistema a raíz de efectuar una disminución del volumen en el que se halla contenido el gas lo cual hace que crezca la concentración de ambos gases, NO_2 y N_2O_4 , y ello enmascara el efecto del aumento en la concentración del óxido incoloro debido al desplazamiento del equilibrio. Esta opción no es aconsejable para ser discutida con los alumnos a esta altura del desarrollo del tema, a pesar de que este sistema químico se usa mucho en los libros de texto y por los profesores porque se lo considera un sistema sencillo y atractivo desde el punto de vista del cambio en la coloración y su relación con el equilibrio. En este mismo sentido, Quílez (2004) ha indicado un importante listado de libros de texto que presentan interpretaciones erróneas relacionadas con los cambios de color que pueden realmente apreciarse para este sistema cuando se lo somete a diferentes perturbaciones.

Descripción de la actividad y de su desarrollo

Actividad N°3. Parte 1. Descripción del sistema en equilibrio en que ocurre la dimerización (a3-1)

El docente propone trabajar con el sistema $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$ el cual, explica, está formado por la mezcla de los óxidos mencionados. En el estado gaseoso, el NO_2 existe siempre como una mezcla en equilibrio con el N_2O_4 . Describe algunas propiedades de ambos óxidos, entre ellas el color - NO_2 : color café rojizo; N_2O_4 : es incoloro- de manera tal de ayudar a los alumnos con las observaciones que realizarán. Hay que tener en cuenta que en todo momento, las observaciones que se quieren interpretar deben estar muy bien orientadas. Aquí, el docente presenta el sistema a los alumnos. Para interpretar lo que está ocurriendo en el recipiente en cuestión en términos microscópicos, los orienta primero a representarlo con la ecuación química correspondiente y analizar, desde el punto de vista de la estructura, las propiedades de las sustancias (Observación dirigida).

Los alumnos pueden caracterizar desde el punto de vista estructural las sustancias que forman el sistema y discutir acerca del aspecto energético de la dimerización. A continuación les propone utilizar la idea de sistema en equilibrio dinámico elaborada previamente para completar la interpretación del mismo en términos de rotura y formación de enlaces nuevos (Explicación argumentativa). Se establece una relación entre el nivel explicativo macroscópico -descripción del sistema y sus cambios- y el nivel explicativo microscópico -uso de modelos para a interpretación de las propiedades y cambios del sistema.

Es importante también a esta altura insistir en analizar la representación del sistema mediante la ecuación química. Para el alumno, en general, la ecuación química representa la relación de cantidades según la cual ocurre la reacción y no una representación de cómo ocurre el cambio. El objetivo es, claramente, discutir ampliamente el significado de dicha ecuación que muestra que la información que puede obtenerse de ella tiene relación con cómo ocurre el proceso y no con las cantidades de sustancia involucradas.

Actividad 3 Parte 2.. Comportamiento del sistema a diferentes temperaturas (a3-2)

Trabajando sobre el mismo sistema, se propone predecir y luego observar lo que ocurre con la coloración del sistema a tres temperaturas diferentes.

El recipiente conteniendo el sistema $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$, inicialmente a temperatura ambiente, se introduce en agua caliente y en hielo sucesivamente. Los alumnos tienen que interpretar una

vez más sus observaciones, utilizando el modelo cinético molecular. Se insiste en la representación molecular del sistema a diferentes temperaturas. La elaboración de representaciones moleculares ayuda a que el alumno interprete sus observaciones y puede resultar útil también para que reinterprete la información que obtiene de la ecuación química correspondiente.

Durante la actividad anterior, se trabaja en el análisis del comportamiento del sistema evaporación- condensación de agua a diferentes temperaturas y se establece la presión de vapor como constante para el sistema en estudio, a una temperatura determinada.

Actividad 3. Parte 3. Introducción de la constante de equilibrio (a3-3).

Se puede proponer a los alumnos pensar en lo que observaron cuando se trabajó con el sistema a cada una de las tres temperaturas y cómo lo representaron molecularmente. Una relación de concentraciones de cada uno de los óxidos presentes en el sistema resulta ser constante a cada temperatura.

Se introduce así la idea de constante de equilibrio. Se puede retomar aquí la idea de que, a temperatura constante, el sistema permanece macroscópicamente invariable, lo cual se aprecia en este caso a través del color del sistema gaseoso. Para ello, hay que tener en cuenta las consideraciones que se hacen al inicio de la descripción de esta actividad.

Actividad 4. Producción de cal viva a partir de caliza en un sistema abierto y en un sistema cerrado (a4)

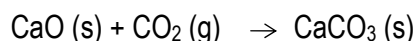
El análisis de los aspectos antes discutidos sobre el Equilibrio Químico se realiza ahora, trabajando con un sistema heterogéneo como el que se plantea a continuación en la hoja del alumno (Figura 2.7).

<p>④ Descomposición del CaCO_3 en un horno de cal</p> $\text{CaCO}_3 (\text{s}) \rightarrow \text{CaO} (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g})$	<p>Descomposición del CaCO_3 en un sistema cerrado</p> $\text{CaCO}_3 (\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO} (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g})$
---	---

Se ha elegido este sistema porque involucra uno de los procesos químicos que el alumno reconoce con más facilidad como reversible. Es conocido el hecho de que el carbonato de calcio, componente principal de la piedra caliza, se descompone formando CaO sólido y CO₂ gaseoso en un proceso que puede representarse por:



Este proceso es el que ocurre habitualmente en un horno de cal. La cal viva, por su parte, se carbonata fácilmente en presencia de CO₂ (del aire), en un proceso que queda representado por la ecuación:



La realización de la Actividad se divide en dos partes. En la primera se trabaja en aplicar el conocimiento desarrollado hasta el momento en relación con la idea de sistema en equilibrio dinámico, a un sistema heterogéneo y en la segunda se propone aprovechar la discusión sobre el comportamiento del sistema para profundizar en el concepto de concentración, a partir del trabajo sobre la constante de equilibrio del sistema.

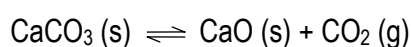
Descripción de la actividad y de su desarrollo

Actividad 4. Parte 1. Descripción comparativa de los dos sistemas

Se propone a los alumnos que describan los sistemas en los que podría estar ocurriendo un proceso como el representado por las dos ecuaciones dadas, consignando las principales diferencias entre ellos. Lo que se pretende a esta altura del desarrollo de la AcAb Equilibrio Químico, es que el modelo de equilibrio dinámico elaborado se utilice para interpretar el comportamiento de diferentes sistemas más o menos sencillos. En este caso, un sistema heterogéneo, con las complicaciones que ello puede traer aparejadas.

Actividad 4. Parte 2. Análisis de la influencia de la fase condensada

Se propone discutir, en relación con el sistema en el que se ha alcanzado el equilibrio, la incidencia que, sobre el estado de equilibrio tiene la presencia de cada una de las especies que conforman el sistema.



Plantear la constante de equilibrio resulta sumamente útil para discutir la idea de concentración como una magnitud intensiva que se comporta de una forma diferente a como lo hacen las magnitudes extensivas que se usan habitualmente, como por ejemplo la masa. Se puede trabajar utilizando además, datos experimentales.

Aquí se propone retomar el sistema de la Actividad 2 para discutir lo analizado en ese caso en relación con el comportamiento de dicho sistema heterogéneo.

Esta es quizá la primera vez que el alumno se enfrenta al hecho de que la concentración de una sustancia pura, en este caso, en estado sólido, tiene un valor constante. Discutir acerca de lo propuesto, requiere poner en claro las diferencias entre tipos de magnitudes, antes expuestas.

Una actividad de generalización que podría proponerse:

¿Cómo explicarías que la producción industrial de cal viva (CaO) en un horno, requiere de una muy rápida y eficaz eliminación del CO₂, a medida que este se produce, para mejorar el rendimiento del proceso?

Aquí surge la posibilidad de discutir una vez más, la idea de que, en un momento determinado, una porción del sistema bajo estudio puede considerarse un sistema cerrado y trabajar en él utilizando el modelo de equilibrio dinámico antes elaborado.

Han de analizarse a partir de aquí otros sistemas de interés dependiendo de las intenciones educativas, de la orientación del curso; esto es, puede adaptarse la propuesta a las diferentes realidades educativas y necesidades. Por ejemplo, uno de los aspectos que sería importante retomar en un tipo de sistema diferente a los analizados hasta aquí, es la idea de sistema cerrado. Sería deseable trabajar con sistemas acuosos, por ejemplo un sistema ácido - base que permitiese continuar profundizando la idea de sistema en equilibrio dinámico, desarrollada.

2.4.3 La evaluación

Es claro que desde una concepción de evaluación como una actividad integrada a todo el proceso de enseñanza y de aprendizaje, tiene, además de la función indiscutible de acreditación

de conocimientos, la función formativa y la de servir como base para reorientar y trabajar en el mejoramiento de la enseñanza. Se evalúa para:

- *Conocer las ideas de los alumnos.* Diagnosticar las ideas previas de los estudiantes, relacionadas con el tema a desarrollar, es uno de los puntos distintivos de una propuesta que intenta que el alumno desarrolle sus propios significados. En el caso de la propuesta didáctica objeto de trabajo de esta tesis, como se ha mencionado ya son fundamentales las ideas previas en relación con varios conceptos y modelos que se vinculan al Equilibrio Químico. También es importante evaluar el uso que los alumnos hacen del modelo de materia en sus explicaciones. Estos conocimientos se evalúan mediante una prueba de lápiz y papel inicial, individual y se continúa el seguimiento de los mismos, mediante las hojas del alumno, cuando, trabajando en pequeño grupo, los estudiantes van anotando sus interpretaciones de las diferentes situaciones que se van planteando en cada actividad.

- *Conocer las dificultades que tienen los alumnos en su aprendizaje.* Con la observación del trabajo en clase como herramienta de toma de datos complementarios, se puede conseguir ir ajustando el desarrollo, para sortear las dificultades que se han previsto y aquellas que puedan surgir y analizar su posible vinculación con aspectos propios del tema, de las actividades y/o de los conocimientos y herramientas de aprendizaje de que disponen los alumnos en cuestión. El análisis de las hojas de los alumnos también aporta al conocimiento de las dificultades con que se enfrentan los estudiantes mientras se avanza en el desarrollo del tema.

- *Conocer en qué medida se han cumplido los objetivos de aprendizaje.* En este caso se han utilizado entrevistas personales a algunos de los alumnos, que sirven a los efectos de la investigación. Por otra parte, la forma de evaluación que tradicionalmente se hace de los alumnos, en el curso en el que se lleva adelante la prueba piloto, se mantiene inalterada. No obstante, se considera que se ha de trabajar la evaluación de los aprendizajes, de manera integrada durante las clases, utilizando instrumentos variados y adecuados a lo que se quiere conocer. Cuando se trata de evaluar si el alumno ha construido un significado de sistema en equilibrio dinámico que incluya componentes del comportamiento del sistema desde los puntos de vista macroscópico y microscópico, una de las herramientas adecuadas

de obtención de datos sería solicitar a los estudiantes la elaboración de un mapa conceptual sobre la base de un conjunto de conceptos dados. Pero si se trata de evaluar si ha interpretado la constante de equilibrio del sistema como función de la temperatura, o si es capaz de predecir e interpretar el comportamiento del sistema en equilibrio ante un cambio de temperatura, será necesario enfrentarlo a resolver alguna situación sencilla en la que sea necesario poner en juego dichas capacidades. Este trabajo de evaluación se vincula necesariamente con el que se realiza en relación con la siguiente meta.

– *Que cada alumno sea consciente de su propio aprendizaje.* Este es un punto central de la concepción de evaluación con la que se pretende trabajar. No hay evaluación formativa si no se da la posibilidad de que los estudiantes tengan la retroalimentación adecuada, que les permita ser conscientes de su propio progreso en el aprendizaje. Esto incluye no sólo dar la posibilidad de que los estudiantes conozcan acerca de los progresos que han realizado sino también, que analicen las posibilidades que les da este nuevo conocimiento para nuevos aprendizajes. Ello puede conseguirse de muy variadas maneras. A continuación se proponen algunas preguntas genéricas que podrían llevar a que los alumnos desarrollen este tipo de reflexión al que se hace referencia aquí.

- *¿Podrías usar esta idea que elaboraste para decidir acerca de....?*
- *¿Podrías elaborar un mapa conceptual los conceptos que consideras más relevantes en este tema (no más de seis)?*
- *¿Serías capaz de analizar estas respuestas dadas por otros alumnos de tu edad a la situación planteada y decidir?*
- *¿Qué es lo que te está resultando difícil de interpretar?*
- *¿Es que estás trabajando sin saber por qué lo haces así?*

En relación con las cuatro metas de la evaluación antes analizadas debería trabajarse conjunta, integrada y constantemente durante el desarrollo de los temas en clase. Es importante para ello aprovechar las actividades de clase para la toma de datos, a través del análisis de lo que surge de los diversos instrumentos de seguimiento de que se puede disponer, fundamentalmente: producciones de los alumnos, observaciones. La evaluación es un elemento clave de la enseñanza y del aprendizaje que resulta muy dependiente no sólo de la propuesta en sí, sino también de cómo esta realmente se concrete en el aula, de la concepción que posea el profesor

y de la que hayan elaborado los alumnos acerca de ello. Un instrumento de evaluación, además de tener un contenido y estructura adecuadas a lo que se pretende evaluar, debe poder ser bien interpretado por los alumnos y resultar acorde a la forma de trabajo en el aula. Por todo esto es que es deseable que sea el propio profesor quien decida cómo llevar adelante la evaluación.

Se evalúa además para obtener información acerca de:

- *El desarrollo de la propuesta en el aula y la actuación del profesor.*
- *La claridad y adecuación de los materiales de trabajo.*
- *La adecuación de los contenidos trabajados*

En este caso, parte de la información se ha obtenido de la observación directa de las clases y su análisis se presenta en el Capítulo 4. Es importante, incorporar también herramientas que permitan obtener información surgida de la opinión de los alumnos, fundamentalmente en relación con los materiales y los contenidos.

Se considera que todas estas cuestiones vinculadas con la evaluación son altamente dependientes del contexto de trabajo, de las expectativas y posibilidades de los actores involucrados y de los requerimientos de cada ámbito de formación, por lo que sólo se proponen aquí directrices generales, que el docente habría de interpretar y desarrollar en cada caso en particular. Se presenta a continuación un resumen de los diferentes aspectos de la evaluación, aplicados a la propuesta que se expone en este trabajo. En el Cuadro 2.1 se exponen las funciones de la evaluación, en relación con algunos lineamientos del contenido de la misma y los momentos del proceso en los que cada una se podría desarrollar. En la última columna aparecen las herramientas que se propone utilizar en el marco de un diseño didáctico como el que se presenta en este capítulo. No obstante, cabe aclarar que no todas ellas son utilizadas en la prueba piloto que se lleva adelante como parte de la presente tesis, dado que se ha adaptado el trabajo a la disponibilidad de tiempo, la preparación previa de los alumnos y las limitaciones propias de un grupo muy numeroso.

Para qué se evalúa	Qué se evalúa	Cuándo	Cómo se evalúa
Diagnosticar las ideas y habilidades de los alumnos	Ideas acerca de conceptos relacionados con el aprendizaje del Equilibrio Químico, como por ejemplo el de reacción química. También interesa conocer si los alumnos están familiarizados con el uso del modelo de materia para la interpretación de situaciones sencillas	- Al inicio de la UD	- Prueba de lápiz y papel individual
Conocer las dificultades que tienen los alumnos en su aprendizaje	Existencia de dificultades comunes a varios alumnos. Algunas pueden preverse a partir del conocimiento de los alumnos que brinda la experiencia como docente, como así también, a partir de lo que plantean los trabajos de investigación.	- Durante el desarrollo de la UD	- Observación del desarrollo de las clases
Conocer en qué medida se han cumplido los objetivos de aprendizaje propuestos	Si se han cumplido los objetivos de aprendizaje ó en qué medida ello se va logrando.	- En diferentes momentos del desarrollo y al final de la UD	- Resolución de situaciones por parte de los alumnos -Elaboración de mapas conceptuales
Obtener información y reorientar el trabajo	El desarrollo de la propuesta en el aula y la actuación del profesor	- Durante el desarrollo de la UD - Al final de la UD	- Opinión de los alumnos - Observación de clases
	La claridad y adecuación de los materiales de trabajo.		
	La adecuación de los contenidos trabajados		

Cuadro 2.1. *Funciones de la evaluación, contenidos, momentos y herramientas de la evaluación*

CAPÍTULO 3

ESTRATEGIAS PARA LA INVESTIGACIÓN DE LA PROPUESTA

En el presente capítulo se describen los aspectos metodológicos de la investigación de la propuesta. Se ha adoptado una postura de investigación interpretativa. La metodología mediante la que se aborda la solución del problema de investigación es eminentemente cualitativa, teniendo como principal objetivo la interpretación de la relación existente entre la propuesta didáctica elaborada y el aprendizaje conceptual de los aspectos centrales del Equilibrio Químico. Se pretende que el trabajo en este marco, se constituya en material base para la discusión de la práctica docente (Stenhouse, 1987) en un tema que requiere prestar especial atención a su enseñanza.

Muchos trabajos que estudian lo que ocurre con el aprendizaje cuando se desarrolla una propuesta didáctica especialmente diseñada, centran la atención en los resultados de una prueba inicial y otra final, y no profundizan en las posibles causas de los resultados obtenidos. En este trabajo se apunta a poner de manifiesto en qué medida la propuesta desarrollada en el aula responde a las directrices con las cuales fue planteada (Objetivo 2). En tal sentido, se considera muy importante para el presente trabajo, el análisis de lo que ocurre con el aprendizaje conceptual, es decir, cuál fue realmente el conocimiento conceptual puesto en juego y cuál el rol del profesor, pero vinculado a lo que realmente pasó en el aula..

Un trabajo reciente (Leach y Scout, 2002) plantea la necesidad de que las investigaciones sobre la efectividad de propuestas didácticas se centren no sólo en el análisis del tratamiento del contenido científico y en la secuencia de actividades de enseñanza sino que profundicen también en el análisis del rol del docente mientras se desarrolla la instrucción, esto es, que presten más atención a la puesta en escena de las actividades de enseñanza por parte del docente. Es necesario hacer explícita la diferencia existente entre el rol del docente según se pensó en el diseño y el que éste desempeña durante la aplicación de la propuesta en el aula. Se necesita identificar los aspectos de las actividades de enseñanza y de su puesta en escena que realmente promueven el aprendizaje de los alumnos y considerar cómo esto puede ser transmitido a otros docentes que no estuvieron involucrados en la investigación.

La recolección de datos para el análisis del aprendizaje se hace fundamentalmente a través de entrevistas a diez estudiantes de los que participan de la propuesta, realizadas en los días siguientes a las dos clases teóricas. Esto podría parecer contradictorio con la idea del aprendizaje significativo, si con dicha evaluación inmediata de los aprendizajes se intentase decidir si la propuesta didáctica es efectiva o no. Pero dado que la intención en esta tesis es *analizar, para un grupo de alumnos universitarios ingresantes, que participan de la prueba piloto de aplicación de la propuesta didáctica especialmente diseñada, qué ocurre con la comprensión conceptual del Equilibrio Químico* (Objetivo 3), interesa, en principio, estudiar las principales características del conocimiento que los alumnos van incorporando a sus estructuras conceptuales, en relación con lo ocurrido en la instrucción. Todo lo anterior, para pensar como rediseñar los materiales y trabajarlos con los docentes para que estos a su vez los pongan en práctica en las aulas.

Se utiliza aquí una estrategia de investigación que se considera adecuada a los objetivos de la tesis, pero que además se adapta en todo sentido a las posibilidades de trabajo que se tienen, en función de la organización del curso en el que se hace el estudio. En tal sentido, en el Apartado 3.1, *La muestra*, se detallan algunas características relevantes del contexto académico y de la muestra experimental de estudiantes con los que se ha implementado la propuesta didáctica, y las del profesor que la lleva adelante en el aula.

En la segunda parte del Capítulo (Apartado 3.2: *Instrumentos de recolección de información*) se presentan los instrumentos para el seguimiento del desarrollo de la propuesta didáctica en el aula y para la evaluación del aprendizaje conceptual.

El seguimiento de la propuesta (Apartado 3.2.2), para conocer lo que ocurrió en su desarrollo, se concreta con la observación directa como herramienta central. Las manifestaciones escritas de los alumnos, contenidas en los materiales de trabajo, resultado del trabajo en pequeño grupo y en grupo de clase, son también datos válidos para este fin.

Como se ha planteado, para la evaluación de lo que ocurre con el aprendizaje conceptual, se realizan entrevistas, al final de las clases en las que se desarrolla la AcAb (Apartado 3.2.3). Ello permite conocer en parte, la estructuración conceptual del contenido y vincular algunas características relevantes, con dificultades detectadas en el aprendizaje del Equilibrio Químico. Además los estudiantes han realizado la prueba previa (Apartado 3.2.1), que como ya se comentó, sirve para conocer sus ideas respecto a algunos conceptos y modelos importantes para el aprendizaje del Equilibrio Químico. Estos datos sirven también para analizar cómo podrían influir, en el aprendizaje conceptual del equilibrio químico, las ideas de reacción química y el uso del modelo microscópico.

3.1. La muestra

En este apartado se caracteriza el contexto académico y el curso en el que se desarrolla la propuesta didáctica diseñada; esto es, el correspondiente a la asignatura Química Biológica del primer año de la carrera Medicina Veterinaria en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (Apartado 3.1.1). Además se describen las principales características del docente a cargo de la intervención (Apartado 3.1.2) y del grupo de alumnos que constituyen la muestra experimental (Apartado 3.1.3).

3.1.1. Contextualización del trabajo

El grupo de alumnos con el que se lleva adelante la propuesta didáctica en el aula está integrado por 80 estudiantes que cursan la asignatura Química Biológica, en el primer cuatrimestre de la

carrera. Para el ingreso a Medicina Veterinaria los alumnos deben realizar un curso previo de nivelación, de aproximadamente dos meses de duración en el que se desarrollan contenidos básicos de Matemática, Física, Química y Biología, denominado *Introducción a las Ciencias Básicas*. Una breve síntesis del contenido de Química que se desarrolla durante este curso se muestra en el Cuadro 3.1. Al inicio de dicho curso se toma a los alumnos una prueba de diagnóstico en cada una de las cuatro disciplinas antes citadas (prueba diagnóstico).

<p>Contenidos <i>Introducción a las Ciencias Básicas</i>.</p> <p><u>Química</u></p> <ul style="list-style-type: none">- Teoría Cinético Molecular de la materia. Modelo de Partículas- Estructura Atómica- Tabla Periódica.- Uniones Químicas.- Compuestos Químicos: a) Compuestos inorgánicos. b) Compuestos del Carbono.- Relaciones cuantitativas en los cambios físicos y químicos de la materia: Fórmulas y composición. Composición centesimal. Fórmula mínima y Fórmula molecular.- Soluciones. Formas de expresar la concentración de una solución. Gramos de soluto en cien gramos de solvente. Gramos de soluto en cien gramos de solución. Gramos de soluto en cien ml de solución. Molaridad. Molalidad. Normalidad. Fracción molar. Partes por millón (ppm).- Estequiometría en reacciones completas. Rendimiento de reacción. Factor limitante. Reactivo en exceso.- Transformaciones energéticas asociadas a los cambios de la materia.- Reacciones y Energía. Termoquímica.

Cuadro 3.1. *Contenidos conceptuales del bloque Química - Curso Introducción a las Ciencias Básicas*

La carrera Medicina Veterinaria se halla estructurada sobre la base de asignaturas, en su mayoría cuatrimestrales. Durante el primer cuatrimestre, se cursan: Biología celular, Química Biológica y Anatomía. Química Biológica, la asignatura en la que se llevó adelante la intervención, incluye en su programación clases teóricas, clases de problemas y trabajos de laboratorio. Las clases teóricas, dos semanales de tres horas cada una, están a cargo de dos docentes diferentes y se desarrollan según el detalle que se muestra en el Cuadro 3.2.

Como puede apreciarse, la introducción al tema Equilibrio Químico se hace al inicio de la asignatura, en dos clases teóricas de tres horas cada una (Clase 2 y Clase 3); a continuación de las cuales se lleva a cabo una clase de resolución de problemas, de tres horas. Este es el tiempo concedido habitualmente en la planificación de la asignatura Química Biológica de la Carrera de Medicina Veterinaria, a la introducción del tema en cuestión.

Clase 1	Características químicas de los sistemas biológicos. El agua como participante activo en los medios biológicos. Estructura molecular. Fuerzas de interacción molecular
Clase 2	<i>Introducción al Equilibrio químico: Conceptos. Keq. Principio de Le Chatelier. Factores que alteran el estado de equilibrio.</i>
Clase 3	<i>Introducción al Equilibrio químico: continuación</i>
Clase 4	Química del carbono. Características de los compuestos orgánicos. Hidrocarburos. Compuestos orgánicos oxigenados: alcoholes, aldehídos. Reacciones características.
Clase 5	Isomería: Clasificación. Isomería plana: de cadena, de función y de posición. Isomería espacial: geométrica y óptica. Compuestos Mixtos. Compuestos Polifuncionales. Polímeros: naturales y sintéticos. Polímeros de adición. Polímeros de condensación
Clase 6	Hidratos de carbono: estructura y clasificación. Monosacáridos. Aldosas y cetosas. Pentosas. Hexosas. Estructuras abierta, furanósica y piranósica: Estructuras de Fisher y Haworth. Glucosa, Galactosa, Fructosa. Poder reductor. Derivados nitrogenados. Esteres fosfóricos. Unión glucosídica. Disacáridos: reductores y no reductores. Lactosa. Sacarosa. Maltosa. Celobiosa. Polisacáridos: almidón, glucógeno, celulosa. Heteropolisacáridos. Importancia biológica de los sacáridos.
Clase 7	Lípidos: Características. Clasificación. Carácter anfipático. Lípidos de importancia biológica: Ácidos grasos: saturados y no saturados. Triacilglicéridos. Grasas y aceites. Hidrólisis, en medio ácido y en medio alcalino. Jabones. Aceites hidrogenados. Oxidación. Fosfolípidos. Esfingolípidos. Cerebrósidos. Esteroides. Terpenos. Estructura e importancia biológica. Lípidos saponificables y no saponificables.
Clase 8	Proteínas: Características. Aminoácidos. Clasificación. Aminoácidos esenciales. Reacciones características: transaminación, oxidación. Punto isoeléctrico. Unión peptídica. Péptidos de importancia biológica. Glutatión. Hormonas peptídicas: Oxitocina. Vasopresina
Clase 9	Estructuras proteicas: estructura primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria. Conformación nativa. Desnaturalización. Hidrólisis. Clasificación de las Proteínas según estructura. Proteínas simples y conjugadas. Clasificación de las proteínas según función. Proteínas fibrosas: Colágenos. Queratinas. Elastinas. Proteínas globulares: Hemoglobina: estructura y fc. Insulina: importancia y fc. Albúminas. Globulinas. Proteínas como anticuerpos. Histonas
Clase 10	Enzimas. Definición y clasificación. Poder catalítico. Centro activo, centro alostérico y regulación. Sustrato. Complejo enzima-sustrato. Cinética enzimática. Constante de Michaelis- Menten (Km): su significado. Inhibición competitiva y no competitiva
Clase 11	Equilibrio de ionización del agua. Equilibrio ácido - base. Concepto de pH. Soluciones reguladoras. Principales mecanismos reguladores del pH del organismo.
Clase 12	Equilibrio redox. Agente oxidante y agente reductor. Potenciales de óxido - reducción. Espontaneidad de las reacciones. Equilibrio de solubilidad. Solubilidad molar. Kps.
Clase 13	Nucleótidos y polinucleótidos: Bases nitrogenadas (purinas y pirimidinas). Nucleósidos: mono, di y trifosfatos: Nucleótidos: AMP, ADP, ATP. Segundos mensajeros (AMPc, GMPc, calcio). Nucleótidos como Coenzimas. Importancia biológica. Ácidos nucleicos. Ácido ribonucleico (ARN): estructura, tipos: ribosomal, mensajero, de transferencia. Ácido desoxirribonucleico (ADN): estructura primaria. Estructura de Watson y Crick: Estructura secundaria. Conformación espacial. Pares de bases complementarias. Importancia biológica
Clase 14	Bioenergética: Producción de energía en los sistemas vivos. Breve introducción al metabolismo: catabolismo y anabolismo. Flujo de la energía en los seres vivos. Sistema ATP- ADP y transferencia de energía. Espontaneidad de las reacciones.

Cuadro 3.2 Programa de clases teóricas de la asignatura Química Biológica

Ello se completa luego con: Equilibrio de ionización del agua y Equilibrios redox y de solubilidad, que se desarrollan más adelante, con carácter eminentemente práctico, esto es, dedicado a la resolución de ejercicios. Este es el único lugar de la carrera en el que se trabaja sobre el

aprendizaje del tema Equilibrio Químico, el cual resulta básico para el desarrollo de muchos otros a lo largo de la carrera.

Para el presente trabajo, el tiempo destinado al desarrollo de la propuesta objeto de estudio corresponde a las seis horas de las clases teóricas. Aparte se desarrolla una clase de resolución de problemas, de tres horas, realizada de la manera que es habitual para esta y otras asignaturas del primer año de la carrera, esto es, los alumnos resuelven los problemas en pequeños grupos de 2 ó 3 alumnos y consultan dudas con los docentes. La guía de problemas utilizada se muestra en el Anexo 1. Si bien la guía contiene, en esta oportunidad, algunos problemas de tipo conceptual (incluidos por el docente responsable, especialmente en este curso, en vinculación con el desarrollo teórico realizado), la mayoría son ejercicios de aplicación. Debemos destacar que, desde el interés que supone para la investigación, a esta clase sólo se ha podido tener acceso como observador y, en consecuencia, no se dispone registros de audio y video.

Los anteriores son datos del contexto en que se prueba la propuesta, importantes a la hora de analizar tanto su desarrollo como el aprendizaje.

3.1.2. Quién es el profesor

El docente que ha de desarrollar la propuesta en el aula es Profesor en Química y Magister en Metodología y Epistemología de las Ciencias. Desempeña su labor docente e investigadora en la Universidad desde hace 25 años, donde se inició como auxiliar y continuó su carrera como Profesor, siempre en los primeros cursos de Química de la carrera Medicina Veterinaria. También ha dado clases de Química en la educación secundaria y en carreras de formación docente en el nivel terciario no universitario. Participa en el Grupo de Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales, en cuyo marco se desarrolla la presente tesis.

La realización de una breve entrevista permite obtener datos que se consideran relevantes para identificar tanto su manera de concebir la enseñanza, desde su amplia experiencia en tal sentido, como su percepción acerca del aprendizaje del tema que en particular nos ocupa.

Ante la pregunta ¿Cómo crees que se aprende mejor ciencia?, el docente se explaya alrededor de su idea considerando central que lo que ha de enseñarse tenga, para el alumno, relación con su realidad: *que el alumno lo pueda relacionar con cosas que sabe*. A la vez remarca la importancia que tiene para el docente conocer las ideas de sus alumnos previas al tema. También se refiere a la relevancia que considera adquiere, en este tipo de carreras, la vinculación de lo que se aprende con *los intereses de la carrera* y de aprender razonando, entendiendo de qué se trata y para que sirve.

Dice pretender que sus alumnos disfruten aprendiendo y aclara: *que obtengan "frutos"*. Cuando explica a qué se refiere plantea una doble acepción para su afirmación. Por un lado se propone que sus alumnos adquieran *herramientas que les permitan avanzar, razonar, aplicar un modelo elaborado a otras situaciones*. Por otro, *que estén cómodos, que se sientan a gusto para preguntar, discutir*.

La concepción de evaluación con la cual se trabaja en el contexto de esta investigación, es la habitual en todas las asignaturas del ciclo básico universitario y que se traduce en realizar algunos exámenes parciales escritos (dos ó tres) y uno final, que puede ser oral o escrito, a través de los que se certifica si se ha alcanzado o no la aprobación de una asignatura. En ese marco, el docente muestra su interés por diferenciar lo que él considera que debe ser una buena prueba de evaluación cuando dice: *la evaluación ha de apuntar al uso del conocimiento para interpretar*. Plantea claramente la importancia de evaluar lo que considera que es importante que el alumno aprenda, y según ha dicho unos párrafos antes, cree que el estudiante ha de aprender a razonar, a emplear modelos, entre otros. Refuerza esta idea al mencionar un rasgo interesante que considera ha de tener la evaluación: *ha de ser coherente con cómo se trabaja en clase*.

Consultado sobre el tema Equilibrio Químico, el profesor considera que hay diversos temas de la formación en Medicina Veterinaria en los que resulta muy importante haber desarrollado una idea sencilla y clara sobre lo que se entiende por sistema en equilibrio dinámico.

Es un concepto clave, básico para entender los equilibrios que luego ven en las fisiologías. Equilibrios de líquidos corporales, mantenimiento de pH, entre otros, comprensión del funcionamiento de un buffer.

Cuando se le pregunta acerca de los conceptos que le parecen centrales para el aprendizaje del equilibrio químico, menciona el concepto de concentración, las leyes de los gases, las reacciones exo y endotérmicas y el modelo de materia. En particular, considera que el uso del modelo de materia mejora la visualización de las características del sistema en equilibrio dinámico, que tienen que ver con confusiones tales como: *reacción directa seguida de reacción inversa; coeficientes estequiométricos que indican moléculas en el recipiente...*

Dice más adelante, refiriéndose también a las dificultades: *Cuando los alumnos analizan las perturbaciones, ven el comportamiento en términos de cantidad y no de concentración y eso los lleva a pensar que la constante varía.* Podría interpretarse esto como que percibe la necesidad de profundizar en el concepto de concentración que poseen los alumnos y que es consciente de la influencia que tiene la idea de reacción química asociada casi exclusivamente a las cantidades de reactivos y productos.

Se trata de un profesional con amplia experiencia en enseñanza de la Química en el nivel universitario básico, que ha reflexionado sobre su quehacer docente y sobre la que considera mejor forma de potenciar el aprendizaje, como así también acerca de las dificultades que ello conlleva en cada tema en particular. Para él, aprender ciencia, no implica sólo asimilar contenidos, sino también, aprender a aplicar esos contenidos en situaciones diversas.

3.1.3. Características del grupo de estudiantes con el que se desarrolla la propuesta

Los estudiantes del grupo experimental son 80 personas, de una edad promedio entre 18 y 19 años y de las cuales 29 son mujeres. A este grupo se lo denomina, de aquí en adelante, *grupo de clase*. En general, este tipo de carreras de corte profesional son más elegidas por los hombres y reúne a personas de muy diversas procedencias. Los estudiantes que forman parte de este trabajo provienen, en un número muy importante, de localidades de la provincia de Buenos Aires y de otras cuatro pertenecientes a tres provincias del sur argentino. La carrera de Medicina Veterinaria se cursa en la sede de Tandil, de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, que tiene otras sedes en las ciudades de Azul, Necochea y Olavarría. Teniendo en cuenta que se trata de un grupo de alumnos que en su mayoría están dando sus

primeros pasos en la Universidad, es interesante analizar su procedencia y formación previa en la educación secundaria recibida. Una tabla conteniendo estos datos, alumno por alumno, se incluye en el Anexo 3.

En el mapa de la Figura 3.1 se han identificado los lugares de procedencia de los 80 alumnos que se hallan presentes en las clases. Como puede apreciarse, la mayoría provienen de localidades de la Provincia de Buenos Aires, distantes de la ciudad de Tandil (sede de la carrera), algunas hasta más de 500 km. Hay seis alumnos que provienen de otras tres provincias, situadas al Sur (Neuquen, Santa Cruz y Río Negro). Esto habla de la diversidad de situaciones, en relación con la procedencia y la formación inicial de los estudiantes que conforman el grupo. En este sentido, es importante resaltar que en Argentina hay una gran diversidad de títulos de educación secundaria, aún dentro de una misma provincia.

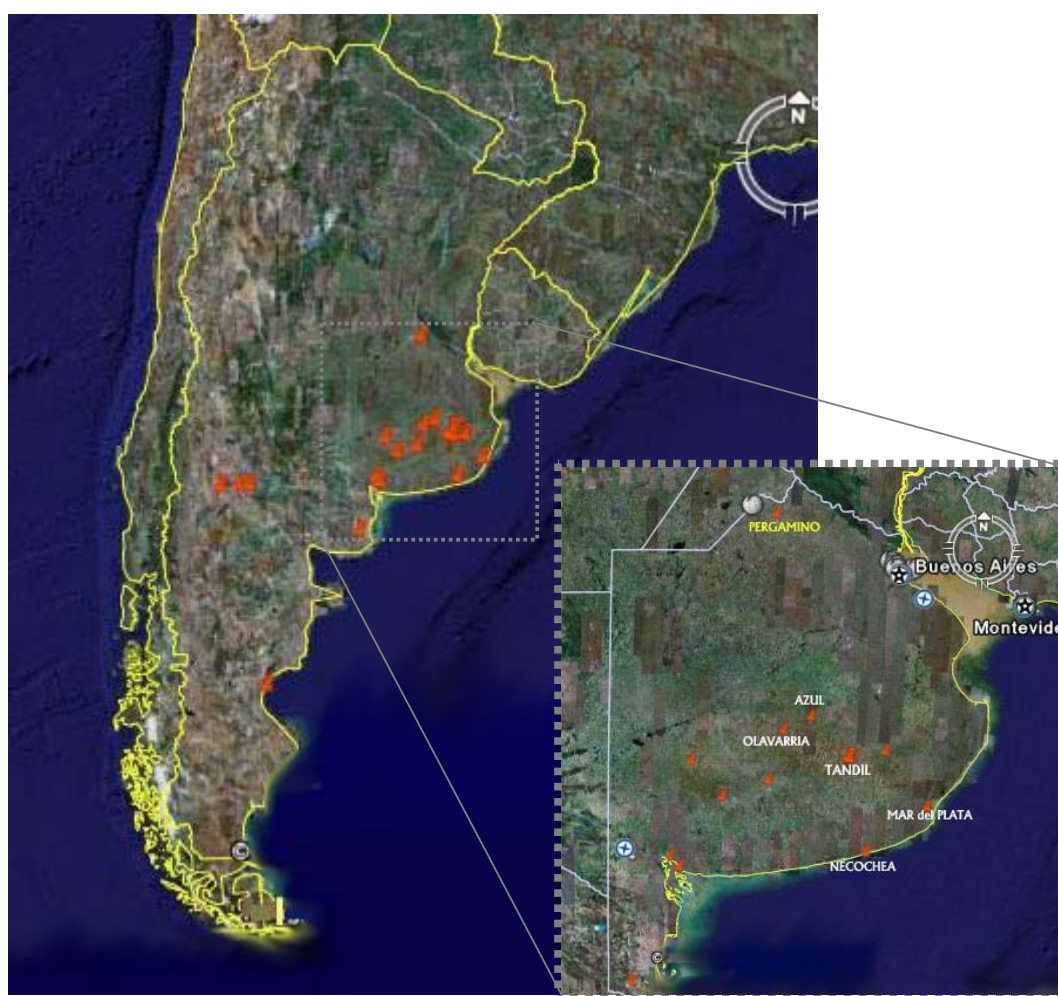


Figura 3.1. *Lugares de procedencia de los alumnos, en el mapa de Argentina.*

(Fuente: Google Maps).

Puede hacerse una diferenciación entre: Títulos con fuerte formación en matemática, física y química (por ejemplo: Bachiller con orientación en ciencias exactas y naturales); Títulos con orientación acorde a la especialidad profesional de la carrera universitaria, como por ejemplo, en este caso, Bachiller con orientación agropecuaria ó Técnico agropecuario especializado en ganadería y otros títulos, que no se encuadran en ninguna de las categorías anteriores, como por ejemplo, Bachiller con orientación en ciencias sociales y Bachiller mercantil. Los títulos secundarios diferentes que poseen el 50% de los estudiantes del grupo participante de este estudio, pertenecen a esta última categoría, mientras que un 25% tiene títulos con una orientación acorde a la especialidad profesional de la carrera universitaria y el restante 25% ha obtenido títulos secundarios con orientación a matemática y ciencias naturales. El 75% de los estudiantes de este grupo han iniciado su trayectoria como alumnos universitarios, inmediatamente después de culminar sus estudios secundarios. Los restantes han iniciado otras carreras y abandonado o han pasado algún tiempo en otra actividad y retomado nuevamente los estudios superiores. En general, la experiencia que poseen hasta el momento en la universidad, se reduce a haber cursado los dos meses del Curso de Introducción a las Ciencias Básicas. No están habituados a la forma de trabajo que intenta ponerse en juego para la introducción del tema Equilibrio Químico y no es posible realizar una fase previa para que se familiaricen con la metodología que se les propone, ya que el tema se desarrolla al inicio de la asignatura Química Biológica que, como se dijo, corresponde al primer cuatrimestre de la carrera.

Se trata de un grupo de trabajo incidental, en el que se estudia una situación natural y típica en la enseñanza: trabajar en el aula con un grupo numeroso de estudiantes que están habituados a diverso tipo de propuestas de enseñanza, diferentes a la que se ha de implementar.

3.2. Instrumentos de recolección de los datos

En este apartado se detallan los instrumentos y la estrategia con que se realiza la recolección de los datos.

3.2.1 Prueba previa

La prueba previa realizada a una parte del grupo de clase tiene por objeto detectar algunas ideas que se consideran relevantes para el aprendizaje en este tema, como así también, saber en qué

medida los alumnos se hallan familiarizados con el uso del modelo cinético - molecular, para elaborar explicaciones. La prueba se toma, por razones de organización de las actividades académicas de la institución universitaria, a los futuros alumnos de la *Asignatura Química Biológica*, cuando se hallan finalizando el *Curso de Introducción a las Ciencias Básicas*. En este curso están organizados por comisiones de trabajo con diferentes docentes en distintos días y horarios, por lo que la prueba se pasa en los dos grupos en los que se obtiene autorización para ello. Las pruebas que se analizan son las que corresponden al grupo de alumnos que luego cursa *Química Biológica*.

La importancia que tienen las ideas de los estudiantes sobre los conceptos relacionados con el tema que se ha de abordar, es fundamental desde la perspectiva de aprendizaje conceptual que se adopta en este trabajo. En particular en el estudio del equilibrio químico, que se ha analizado en el Apartado 2.2.1, la conceptualización del tema conlleva el uso interrelacionado de conceptos tales como: reacción química y reversibilidad. También se plantea el uso del modelo cinético molecular para interpretar el comportamiento de los sistemas en equilibrio dinámico. Por ello, se realiza una caracterización inicial del grupo de alumnos, en la que se apunta a tener alguna información previa de cuáles son los conocimientos que poseen, de los conceptos que se consideran relevantes y básicos para la interpretación del equilibrio químico y sobre qué uso hacen del modelo cinético - molecular. Se utiliza para ello una prueba de lápiz y papel cuyo objetivo es doble:

- Conocer las ideas de los alumnos sobre conceptos y modelos relevantes antes de la puesta en aula de la propuesta.
- Aprovechar ese conocimiento para realizar algunas adaptaciones a la propuesta en relación con el grupo de alumnos con el que se ha de llevar adelante. Estas adaptaciones se describen en el Apartado 4.2.

La prueba comprende tres ítems, dado que fue necesario adaptar la extensión al tiempo de que pudo disponerse dentro de las clases pautadas para el curso previo a la asignatura Química Biológica. Los alumnos que resolvieron la prueba se consideran representativos del grupo total en cuanto la elección es circunstancial, y se tienen indicios claros, a partir de otros trabajos de investigación, de cuáles podrían ser los resultados esperados.

En particular, sobre uno de los tópicos que se pretende indagar, el uso del modelo de materia discontinuo, existe un importante número de trabajos cuyo objetivo es estudiar las concepciones de los alumnos en relación con el modelo de materia discontinua y la utilización que los alumnos hacen de él para elaborar explicaciones, entre los que pueden mencionarse los trabajos de Novick y Nussbaum (1978) -que entrevistaron a estudiantes de 13 y 14 años-, de Haidar y Abraham (1991) -con alumnos de 17 años- y el de Domínguez y otros (1998), en el que se analizaron los mapas conceptuales elaborados por 500 alumnos de diferentes niveles educativos, desde los 12 años hasta la Universidad. Trinidad y Garritz (2003) hacen una recopilación de los estudios realizados sobre estructura de la materia y plantean que todos los estudios coinciden en señalar que las concepciones alternativas sobre estructura de la materia, persisten en los alumnos aún después de la educación secundaria.

El primero de los ítems de la prueba apunta a conocer si los alumnos son capaces de explicar utilizando el modelo de materia; y los otros dos recogen las ideas de los estudiantes sobre reacción química, incluyendo los conceptos de reversibilidad y ecuación química. La prueba se aplicó en dos versiones (A y B), cada una de las cuales fue administrada a diferentes grupos de alumnos.

Ambas versiones fueron pasadas, en diferentes fecha y horario, dentro de los últimos 10 días del curso de Introducción a la Universidad, previo al inicio de la asignatura Química Biológica. La versión A fue administrada cinco días antes que la B. Ambas estuvieron a cargo de uno de los profesores del curso de Introducción que luego sería el docente involucrado en la intervención didáctica y responsable de la asignatura antes citada. Cuatro alumnos voluntarios, respondieron las dos versiones de las prueba, como integrantes de cada una de las comisiones. De quienes resolvieron la versión A, 12 alumnos continuaron y se integraron luego al grupo de clase en la asignatura Química Biológica. De quienes resolvieron la versión B, hicieron lo propio 21 alumnos.

Para ambas versiones de la prueba, las preguntas del ítem 1, destinadas a indagar acerca de la utilización del modelo de materia para elaborar explicaciones, fueron elaboradas por la investigadora, teniendo en cuenta las herramientas y resultados de muchos de los trabajos existentes, sobre la interpretación y uso del modelo cinético - molecular. Sólo el ítem de opción

múltiple fue tomado de Llorens Molina (1988). Las principales diferencias entre las dos versiones de la prueba radican en la forma en la que se presenta en cada una de ellas, el apartado que requiere el uso del modelo cinético - molecular para la explicación de fenómenos cotidianos sencillos (difusión y evaporación). Con esto se pretende atender a la influencia de la forma del ítem y del fenómeno considerado, en el tipo de respuestas obtenidas.

En la versión A de la prueba las dos situaciones planteadas en el primer ítem, correspondientes a la utilización del modelo para explicar la evaporación, se presentan como preguntas de respuesta abierta, en las que se les indica a los alumnos expresamente que hagan uso de un modelo, en sus respuestas. En la versión B, en cambio, se combinan una pregunta de opción múltiple, la correspondiente al ítem 1 - a), y otra de respuesta abierta en la que no se indica explícitamente que se haga uso del modelo de materia (ítem 1 - b). Ambas implican la explicación del fenómeno de difusión. Las opciones de respuesta de la primera pregunta se dan como una forma más de inducir a los alumnos a utilizar el modelo en sus explicaciones, teniendo en cuenta que, de lo analizado, son muchos los trabajos de investigación que mencionan la dificultad para conseguir que los alumnos elaboren sus respuestas en términos microscópicos y que, por tanto, es necesario inducirlos a ello (Pozo y Gómez C., 1998, p.160-161).

El de reacción química es el otro concepto acerca del cual interesa indagar con la prueba de lápiz y papel. Se refieren particularmente a él, los ítems 2 y 3, los cuales son idénticos para ambas versiones. Los dos ítems han sido probados previamente en sendos trabajos de la autora de la tesis (Rocha y otros, 2000 y Caruso y otros, 1998) con estudiantes entre 16 y 18 años. También es abundante la producción de que se dispone en relación con trabajos que analizan la concepción de reacción química, de alumnos de diferentes niveles educativos (Ribeiro y otros, 1990; Chastrette y Franco, 1991; Barlet y Plouin, 1994).

Con el ítem 2 de la prueba previa correspondiente al presente trabajo de tesis, se busca que el alumno hable acerca de lo que representa para él una reacción química, qué información obtiene de ella. Una versión similar de este ítem fue elaborada y probada en el primero de los trabajos antes mencionados. En él se contó con dos grupos de alumnos de la carrera Medicina

Veterinaria, el año académico anterior al de desarrollo del presente trabajo, con los cuales se realizaron sendas clases, de dos horas, de introducción al tema Equilibrio Químico. Con uno de los grupos se desarrolló el tema como se lo hace habitualmente y con el otro se hizo una clase en la que se desarrolló parte de la propuesta diseñada especialmente para este trabajo. En esa oportunidad, finalizada la clase se pasó a los alumnos de ambas comisiones una prueba de lápiz y papel cuyo objetivo era rescatar las principales características de las concepciones iniciales que ponían en juego en uno y otro caso. El ítem al que se hace referencia aquí, permitió obtener información que mostró que los alumnos del grupo que participó de la propuesta diseñada, incluyeron en sus descripciones de lo que representaban las ecuaciones que se les presentaron, más aspectos relevantes de lo que ocurre en el sistema, que los del otro grupo. Si bien en este trabajo el objetivo es ligeramente diferente, se dispone de esta experiencia previa que permite decir que este tipo de ítem da información relevante acerca de los que alumnos “interpretan” cuando se les presenta una ecuación química.

A partir de las representaciones moleculares presentadas en el ítem 3 se pretende que los alumnos decidan si puede tratarse de recipientes en los que ha ocurrido reacción química y que justifiquen su decisión. Este ítem fue trabajado también previamente (Caruso y otros, 1998), con alumnos que se hallaban finalizando la escuela media. Resultó muy útil para identificar, en ese caso, si podían usar elementos de un modelo microscópico para interpretar, como así también, para conocer algunas características de sus ideas sobre reacción química. Por ejemplo, muchos de ellos consideraron que no puede existir reacción química, si en el recipiente todos los átomos son del mismo tipo, lo cual se interpretó como expresión de una concepción de reacción química muy ligada a la ecuación.

La prueba completa fue pasada además, a algunos de los docentes del curso de Introducción a las Ciencias Básicas, con el objetivo de ajustar la terminología. Las versiones definitivas se muestran en las Figuras 3.1 y 3.2.

Nombre:

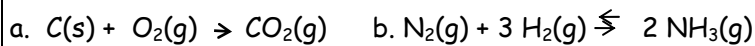
Fecha:

Trata de responder a las dos preguntas siguientes utilizando un modelo de cómo está constituida la materia.

1. a - ¿Por qué se seca un plato mojado que se deja sobre la mesada de la cocina?

1. b - ¿Existe, a tu criterio, alguna diferencia entre lo que le ocurre al contenido de dos frascos iguales, el primero lleno con agua y el otro con alcohol, cuando se dejan ambos destapados, a temperatura ambiente, durante 10 minutos? Explica brevemente.

2 - Describe con tus palabras lo que se representa en cada uno de los ítems a continuación:



3 - Cada una de las siguientes es una representación microscópica de un recipiente en dos momentos distintos. Los símbolos \square , \bullet , \circ representan partículas (átomos, iones o moléculas) de distintas especies químicas. En cuáles de los siguientes casos pudo haber ocurrido una reacción química?. Justifique brevemente su elección.

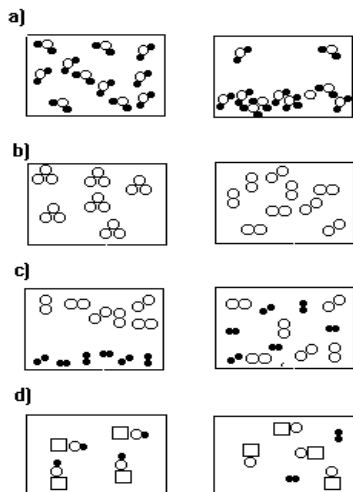


Figura 3.1. Prueba de lápiz y papel. Versión A.

Nombre:

Fecha:

Trata de responder a las dos preguntas siguientes utilizando un modelo de cómo está constituida la materia

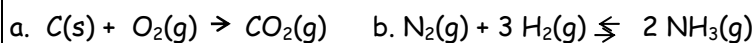
1. a - Elige la opción que consideres más correcta:

Cuando destapas un frasco de perfume, al cabo de cierto tiempo se nota su aroma a cierta distancia. ¿Cómo crees que se mueven los vapores de perfume en la habitación?

- a) Se mueven como las ondas que se producen al echar una piedra en un tanque.
 - b) El aire se aparta por ser menos denso, dejando pasar al perfume.
 - c) Cada partícula de perfume se mueve constantemente en cualquier dirección entre las partículas de los demás componentes del aire.
 - d) El aire arrastra las partículas de perfume.
 - e) Ninguna de las anteriores (especificar).
- (Adaptado de Llorens M., 1988)*

1. b - Cuando se echa una gota de colorante en un vaso con agua, al cabo de cierto tiempo el agua se colorea completamente. ¿Cómo puedes explicar este hecho?

2 - Describe con tus palabras lo que se representa en cada uno de los ítems a continuación:



3 - Cada una de las siguientes es una representación microscópica de un recipiente en dos momentos distintos. Los símbolos \square , \circ , \bullet representan partículas (átomos, iones o moléculas) de distintas especies químicas. En cuáles de los siguientes casos pudo haber ocurrido una reacción química?. Justifique brevemente su elección.

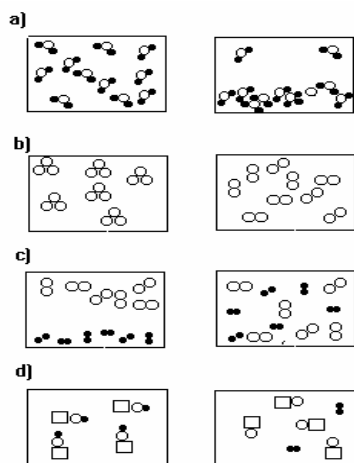


Figura 3.2. Prueba de lápiz y papel. Versión B.

3.2.2 Seguimiento del desarrollo de la propuesta en el aula

Si se considera el aula como un sistema complejo en el que existen múltiples interacciones entre los elementos que lo constituyen, no es posible introducir un cambio en ese sistema sin que se produzcan modificaciones en todos sus componentes. Cualquier “intervención” debe ser analizada y estudiada viendo el aula como un todo lo más completo posible. El desarrollo de una propuesta como la que se ha diseñado en este trabajo se concreta de una manera única e irrepetible que tiene relación con cómo ocurre la interacción entre los diferentes elementos comprometidos en ese desarrollo (el docente – los alumnos – la propuesta).

En el Capítulo 2 se ha descrito la propuesta de trabajo en el aula, esto es, el contenido a desarrollar y cómo se propone hacerlo. Si bien son muchas las variables en el aula que influyen en la construcción del conocimiento, se han definido dos aspectos a analizar a través del seguimiento de la puesta en práctica de la propuesta didáctica: el contenido de la secuencia y el rol del profesor en el desarrollo de la misma.

Ambos aspectos se analizan a partir de la observación directa de las clases y se complementa su evaluación con datos surgidos del material que producen los alumnos durante las clases. Ambas herramientas de toma de datos -la observación directa de las clases y las hojas de trabajo de los alumnos- aportan datos que son complementarios, a la vez que permiten obtener conclusiones particulares surgidas de la utilización de cada fuente.

¿Cuál fue el conocimiento conceptual circulante en las clases? ¿Cómo se implementó la propuesta en lo que se refiere al aspecto didáctico? ¿Se llevó adelante la intervención según lo esperado? ¿Cuales fueron los puntos “fuertes” y dificultades de la implementación de la propuesta en el aula? ¿Cuales fueron realmente los roles del profesor y los alumnos? Todas son preguntas a las que se ha de responder a partir del análisis del seguimiento del desarrollo de la propuesta, que se describe en este apartado. Se trata de alguna manera de mostrar el grado de concordancia entre lo realizado en el aula y la propuesta de trabajo sobre Equilibrio Químico descrita en el Capítulo 2 y teniendo en cuenta además, las adecuaciones realizadas para el grupo de alumnos en cuestión (Apartado 4.2 *Consideraciones...*). Para ello se trabaja en el análisis de lo ocurrido en clase (el análisis de la estructura conceptual del conocimiento circulante y análisis de la implementación didáctica de la propuesta y del rol del profesor), a partir

del registro descriptivo de las mismas, que se complementa con los datos surgidos de las hojas de los alumnos. Las herramientas utilizadas se describen a continuación y un mayor detalle del procedimiento seguido, como así también las preguntas base que se pretenden responder con este análisis, aparecen en el Capítulo 4: *Resultados de la aplicación de la propuesta*, en el Apartado 4.3.1: *Análisis del desarrollo de las clases*.

La estrategia de recolección de datos para evaluar el desarrollo de la propuesta didáctica, se describe a continuación incluyendo como instrumentos la observación directa y los materiales elaborados por los alumnos.

Observación directa del desarrollo de las clases

Determinar para qué observar, qué es lo que ha de observarse y cómo hacerlo, es un requisito previo esencial, del trabajo de recolección de datos por este medio. La función que tiene en este caso la observación es eminentemente descriptiva, sobre los hechos que componen las clases teóricas durante las cuales se desarrolla la unidad didáctica diseñada. Se trata de orientar la atención, por un lado, sobre el tratamiento del contenido en clase. Esto es, sobre las proposiciones puestas en juego en el aula cuando se desarrolla la unidad didáctica. También es relevante detectar las principales características que definen el papel del docente en estas clases, teniendo en cuenta las premisas más importantes de trabajo, conocidas previamente por él.

Cuando la observación ha de responder preguntas, ha de ser deliberada y sistemática. Por tal razón es preciso determinar claramente el sistema de registro de datos a utilizar y la forma en que estos han de ser analizados. En este caso se trabaja sobre un sistema observacional abierto, sin categorías prefijadas, de tipo descriptivo – tecnológico. Las unidades de análisis son unidades naturales, fundamentalmente constituidas por lo que dice el profesor, que forman parte del registro descriptivo (Evertson y Green, 1997. pp. 338 - 340).

La investigadora actúa como observadora independiente. Realiza el registro tecnológico de lo ocurrido, con grabación de audio y video de la clase como un todo, haciendo hincapié en el registro del discurso del profesor, y complementando estas observaciones con sus propias notas

sobre aspectos de interés. De esta manera se consiguen datos brutos que posteriormente se “procesan” para su análisis.

Hojas de trabajo de los alumnos

Estos materiales, además de constituir una herramienta didáctica incorporada en la clase, son utilizadas por el investigador como un instrumento para evaluar el desarrollo de la propuesta en el aula desde un punto de vista más cercano al del alumno. Las hojas contienen las manifestaciones escritas de los estudiantes, elaboradas en pequeño grupo, y las notas tomadas a partir de lo que el profesor dice. Permiten, por tanto, obtener información relevante a la hora de conocer lo que ocurrió en el aula con el desarrollo de la propuesta didáctica. Cabe recordar que estas hojas tienen una estructura tal que proponen volcar la información en tres columnas. En la primera aparece una pauta de actividades a realizar por el alumno. La segunda columna, en la que los alumnos anotan sus observaciones e interpretaciones, es de especial importancia pues sirve para evaluar el método en sí mismo y conocer las ideas de los alumnos (Domínguez C. y Pro B., 2006). En la tercera columna se propone consignar las intervenciones del docente. Lo que los alumnos expresan allí, en sus hojas de trabajo, permite rescatar con cuáles de las relaciones que se ponen en juego a lo largo de la intervención se han implicado realmente, lo cual estaría dando indicios más concretos del conocimiento compartido en el aula.

Los alumnos trabajan en grupos de dos y registran sus observaciones e interpretaciones, así como la intervención del docente, en sus hojas. Se dispone así de 40 hojas de alumnos para el análisis.

3.2.3 Entrevistas

Para el estudio de la comprensión conceptual lograda se utilizan entrevistas, realizadas al finalizar la instrucción, a través de las cuales se pretende identificar el significado que los estudiantes dan a los conceptos involucrados en el estudio del equilibrio químico, a través de las relaciones que establecen entre ellos y del análisis de cómo aplican las ideas construidas, para resolver situaciones sencillas. El aprendizaje conceptual en relación al tema Equilibrio Químico

se estudia, luego de la instrucción, con un grupo de diez alumnos elegidos al azar, por sorteo, utilizando para ello el número de inscripción a la asignatura Química Biológica.

Las entrevistas personales son una herramienta útil para conocer lo que alguien piensa acerca de un tema determinado. Para este trabajo interesa particularmente lograr una relación con el entrevistado intermedia entre un interrogatorio formal y una conversación de amigos con el propósito de conseguir que el alumno exprese con sus propias palabras las ideas (Spradley, 1979). Se ha de tener especial cuidado en lograr una adecuada relación con el entrevistado, para lo cual el entrevistador, además de explicar antes del inicio de la entrevista, el objetivo de ésta en el marco del trabajo de investigación en desarrollo, debe hacer, en diferentes momentos, repetidas explicaciones acerca de ello: "*como te dije antes, estoy interesada en*", a la vez que rescata, siempre que resulta posible y adecuado, lo que el entrevistado dice, para reafirmar la importancia de su colaboración en el estudio: "*estoy entendiendo lo que dices, es muy valioso para mí.....*". Por otra parte, las preguntas no deben requerir respuestas demasiado extensas, más bien, breves descripciones.

Cada entrevista incluye preguntas descriptivas, a partir de las cuales se pretende captar algunos elementos propios del lenguaje del entrevistado; preguntas estructurales que sirven para comprender lo que el entrevistado piensa sobre las situaciones que se le plantean y las preguntas de contraste que se utilizan cuando es necesario aclarar lo que el entrevistado está expresando. La duración de las entrevistas fue de entre 30 y 40 minutos.

Como se ha dicho, el objetivo central de las entrevistas en este trabajo, es identificar las características que tiene la conceptualización que los alumnos han elaborado sobre equilibrio químico y el significado que dan a los conceptos involucrados en el estudio de sistemas en equilibrio dinámico, a través de las relaciones que establecen entre los términos y apuntando básicamente, a aquellos aspectos del tema en lo conceptual, que se consideran relacionados con las principales dificultades de aprendizaje. Se analizan los significados de reacción química, reversibilidad y, en particular, el de equilibrio dinámico, haciendo especial hincapié en recuperar aquellos aspectos que se han presentado antes como dificultosos, a partir de lo que encuentran las investigaciones que analizan el aprendizaje del tema Equilibrio químico, descrito antes en el apartado 1.7.3: *Análisis de las dificultades de aprendizaje a partir de investigaciones previas*. Entre esos aspectos pueden mencionarse: la confusión masa – concentración, la confusión entre

velocidad y extensión de la reacción, la visión del sistema en equilibrio como formado por dos compartimentos separados entre los que la "reacción" va y viene (*Compartimentalización y visión pendular del equilibrio*) y la interpretación de la composición del sistema en equilibrio como determinada por la estequiometría de reacción.

Para organizar la estructura del conocimiento sobre equilibrio químico, alrededor de la cual se habría de desarrollar cada entrevista, se preparó un mapa conceptual representativo de lo que deberían ser los conceptos y relaciones que se espera surjan en las entrevistas (Novak, 1998, pp. 102). Para un dominio de conocimiento como este, en el que el conocimiento involucrado está bien definido, el mapa ha de representar la estructura de conocimiento de los expertos con el grado de sofisticación dependiendo de la población a la que va dirigido. En este caso, el mapa base ó patrón (Figura 3.4) se elabora teniendo en cuenta, además del conocimiento conceptual

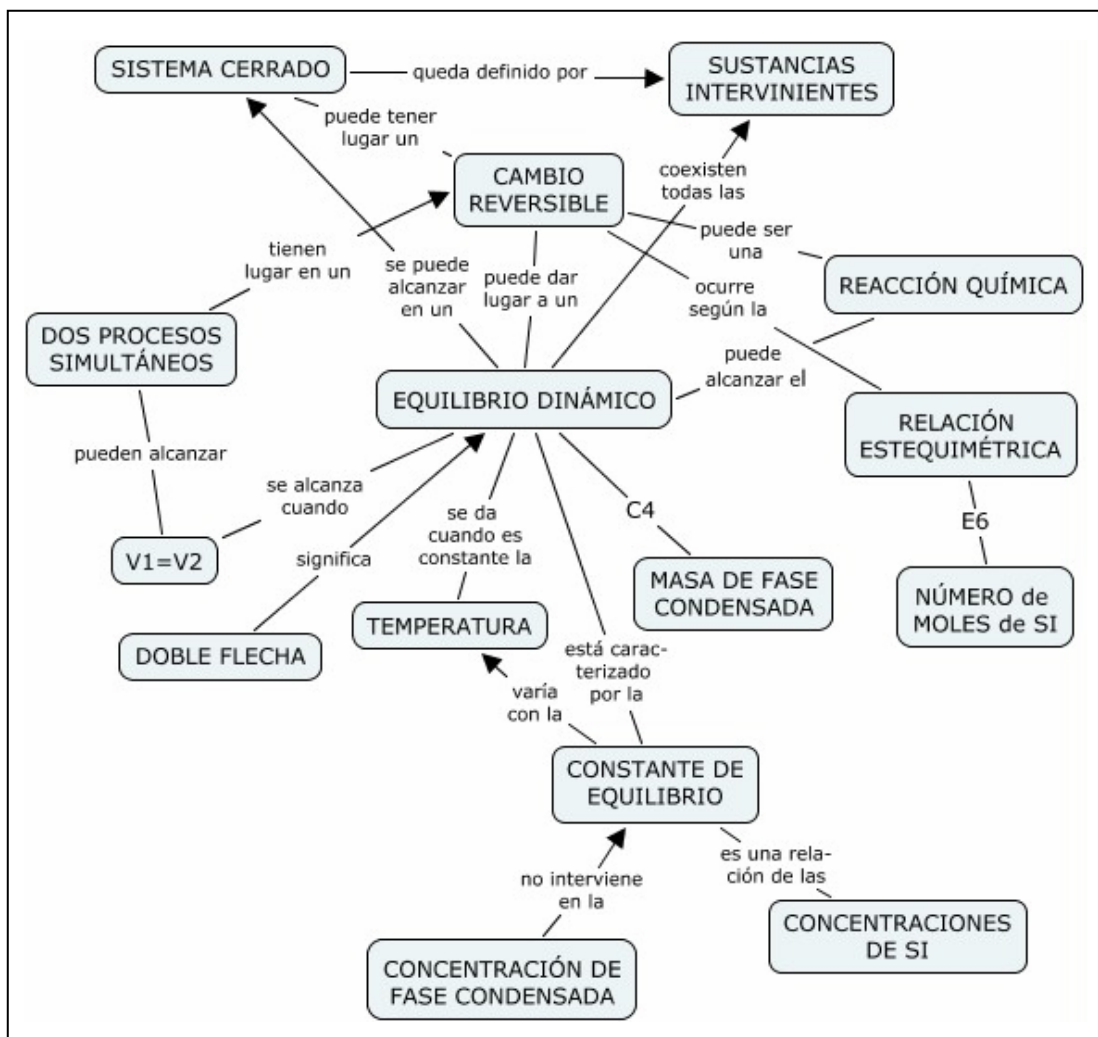


Figura 3.4. Mapa conceptual base para el desarrollo de las entrevistas

en relación con el contenido científico en cuestión, las características propias de los entrevistados y de la propuesta didáctica de la que participan. Las proposiciones del mapa base son muy similares a las que se ha considerado que habrían de ser puestas en juego en las clases y que aparecen más adelante, cuando se explica cómo se ha llevado adelante el análisis de las clases. Es necesario aclarar que el concepto doble flecha, en este mapa y en los que aparecen más adelante en los Capítulos 4 y 5, debe leerse como \rightleftharpoons

Las entrevistas apuntan además, a obtener datos de contexto acerca de, por ejemplo, la situación educativa de los alumnos, los temas de Química que han estudiado; cómo estudian; cómo les han enseñado Química, todos datos que presentan y ayudan a delimitar el contexto en el cual se desarrolla esta investigación que completan la información disponible sobre cada uno de los casos en estudio, se incluyen algunas preguntas descriptivas, cuyas respuestas se analizan en el Apartado 5.1: *Caracterización del grupo de alumnos sobre los que se estudia lo que ocurre con el aprendizaje*

¿Cómo se desarrollan las entrevistas?

Entre 20 estudiantes sorteados, participan del estudio, aquellos que expresan su conformidad en hacerlo. Las tres primeras entrevistas, se consideran de prueba. A partir de ellas se consiguen ajustar el tipo de preguntas a realizar, algunas cuestiones de vocabulario y decidir qué sistemas químicos conviene plantear para el análisis, si los entrevistados, como ocurrió durante las citadas entrevistas de prueba, no proponen alguno.

La primera parte de las entrevistas, fundamentalmente orientada a crear un clima distendido en el que se desarrolle la "conversación", apunta a cuestiones tales como: ¿qué contenidos le han resultado más interesantes hasta ahora?, ¿cuáles le resultan nuevos?, entre otras; con el objetivo de obtener lo que se ha denominado, datos de contexto. Al finalizar la entrevista se incluyen una vez más preguntas descriptivas relativas a la enseñanza y al aprendizaje, fundamentalmente dirigidas a conocer cómo se plantean el estudio en una u otra materia.

La parte central de cada entrevista, basada fundamentalmente en preguntas estructurales y de contraste se describe esquemáticamente en el Cuadro 3.3.

1. Presentación
2. Preguntas descriptivas en relación con su percepción acerca de la nueva situación que representa estudiar en la Universidad:
 - *¿Qué diferencias encontrarás con la escuela secundaria?*
 - *¿Qué contenidos de Química te han resultado nuevos?*
 - *¿Qué contenidos de Química te parecen más interesantes?*
3. Las preguntas que integran el núcleo central de cada entrevista se organiza según la siguiente idea:
 - Sobre un ejemplo de reacción química (generalmente propuesto por el entrevistador mediante una ecuación), se pide al entrevistado que hable, describa y represente microscópicamente, decida cómo trabajaría en el laboratorio. Se plantean, mediante la representación a través de las ecuaciones químicas correspondientes, sistemas en equilibrio y sistemas que no lo están.

Preguntas descriptivas:

 - *¿Cómo procederías si tuvieses que conseguir en el laboratorio un sistema como este? (Refiriéndose al sistema representado por la ecuación)*
$$\text{NH}_4\text{Cl (s)} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \text{ (g)} + \text{HCl (g)}$$
 - *Quiero instalar una planta de producción de amoníaco. Vos sabés que el proceso es como este (señalando hacia la ecuación). ¿Qué requerirías para empezar a trabajar?*
 - Sobre el mismo ejemplo u otro, de un sistema en equilibrio, las preguntas que siguen apuntan a obtener información acerca de su comportamiento cómo tal y frente a perturbaciones. Los ejemplos a analizar son propuestos en la medida en que la conversación va permitiendo incluirlos.

Preguntas estructurales:

 - *¿Te animás a dibujar un recipiente en el que pudieses representar las moléculas.....?*
 - *¿De qué otra manera podría alterar ese equilibrio?*

Preguntas de contraste:

 - *¿En qué consiste esa diferencia entre el sistema a una T y a otra?*
4. Preguntas de cierre.

Preguntas descriptivas relativas a la enseñanza y el aprendizaje, en su mayoría referidas a cómo el entrevistado se plantea el estudio de las diferentes asignaturas.

 - *¿Cómo te planteás el estudio a nivel universitario?*
 - *¿Hay diferencias entre cómo estudiás una u otra materia?*

Cuadro 3.3. Esquema de desarrollo de preguntas durante la entrevista

Con las preguntas estructurales se pretende encontrar elementos de las concepciones del entrevistado y conocer cómo organiza el conocimiento. Cuando el desarrollo de la entrevista lo requiere se introducen preguntas de contraste para explorar a qué se está refiriendo el alumno cuando utiliza cierta terminología. Por ejemplo: ¿Qué diferencia consideras que existe entre \rightarrow y \rightleftharpoons ?

Se trabajó con el esquema anterior, aplicado, en la mayoría de las entrevistas, al análisis de dos sistemas diferentes, uno homogéneo y el otro heterogéneo. Las entrevistas se desarrollan aproximadamente 30 días más tarde de la finalización del tema y se usan aquí para evaluar el conocimiento conceptual de los alumnos posteriormente a la instrucción, resultan la fuente de datos más importante de que se dispone acerca del aprendizaje conseguido por los alumnos luego del desarrollo de la propuesta especialmente diseñada. Todas las entrevistas fueron grabadas en audio.

3.3 Análisis de los datos

3.3.1. Análisis de los datos surgidos de la prueba previa

El ítem 1 es diferente para las versiones A y B de la prueba, por lo que el análisis se realiza por separado. Las respuestas se categorizar en:

- Macroscópicas (M): describen lo observable, lo que ocurre, usando terminología científica.
- Microscópicas (mi): explicaciones que usan el modelo cinético molecular.

Se identifican dentro de cada categoría, respuestas alternativas a las científicas (Malt y mialt).

- Alternativas (Alt): respuestas que son expresión de lo observable, en lenguaje cotidiano.

La forma del ítem 2 es la misma para las dos versiones de la prueba por lo que el análisis de los resultados se realiza en forma conjunta. Aquí el objetivo es conocer qué componentes del significado de reacción química (correspondientes a las visiones macroscópica y microscópica) incluyen los estudiantes en sus descripciones de lo que representa para ellos una ecuación química.

Las respuestas se categorizar en:

- Respuestas que nombran el proceso que ocurre ó que mencionan a la/s sustancia/s que se está/n formando (N).
- Respuestas que describen macroscópicamente lo que representa la ecuación. Dentro de esta categoría de respuesta se han diferenciado las descripciones que incluyen relaciones estequiométricas (ME) y las que no (M).
- Respuestas que describen macroscópicamente, incluyendo términos microscópicos lo que representan las ecuaciones químicas. También se diferencian en esta categoría, las respuestas que tienen en cuenta relaciones estequiométricas (MmE) y las que no (Mm).
- Respuestas que describen desde una visión microscópica el proceso representado por la ecuación química (ecuación como representación de cómo ocurre el cambio) (mi)

Para la segunda ecuación han de considerarse además, las categorías de respuesta:

- No tienen en cuenta la reversibilidad: (No).
- Reversibilidad no implica simultaneidad (RNS).
- Tienen en cuenta la reversibilidad (Si).

El Ítem 3 requiere decidir por sí o por no y justificar adecuadamente, si las representaciones dadas pueden corresponder a recipientes hipotéticos en los que ha ocurrido reacción química.

Las justificaciones se categorizar en:

- Tipo m1: vinculan los niveles de representación macroscópico y microscópico.
- Tipo m2: dicen que los átomos se unen distinto o que se forman moléculas distintas.
- Tipo m3: mencionan el cambio en la estructura, de manera general.
- Tipo m4: usan términos macroscópicos pero implican que el alumno ha hecho una representación microscópica de la situación.

3.3.2 Análisis de los datos correspondientes al seguimiento de la propuesta

Se pretende, a partir de los datos que surgen de la **observación de clases**, complementados con los que se pueden extraer de las **hojas de los alumnos**:

- Analizar cómo se llevó a cabo la implementación de la propuesta y cuál fue el rol del profesor.

- Rescatar el conocimiento conceptual puesto en juego en las clases, convertido en proposiciones que permitan conocer la organización conceptual del conocimiento circulante, a partir de la organización conceptual del discurso del profesor.

Los datos obtenidos se tratan y sistematizan, de acuerdo con los dos objetivos anteriores, de la siguiente manera:

1 – *Elaboración de un registro descriptivo*. Lo realiza el mismo investigador que hace el registro tecnológico y la observación directa. El registro descriptivo (Anexo 2) contiene la transcripción de las intervenciones del docente y de los alumnos cuando se desarrolla el trabajo de clase en gran grupo, el detalle de los momentos de discusión de los alumnos en pequeño grupo y comentarios acerca de la situación de enseñanza y de aprendizaje que el observador ha considerado relevantes.

2 - *Traducción del registro descriptivo en términos de proposiciones*. Sobre la base de los aspectos conceptuales considerados más relevantes para el trabajo del tema Equilibrio Químico con la propuesta didáctica, se elabora la Tabla 3.1 en la que se consignan las proposiciones que se espera que aparezcan como compartidas por la clase durante su desarrollo. A partir del registro elaborado previamente se vuelcan en ella las proposiciones que van apareciendo. Estas se modifican cuando es necesario y se agregan otras que no se han previsto, a medida que se realiza el vaciado de los datos.

Para una mejor interpretación de cada una de las proposiciones del repertorio inicial, se dan algunas explicaciones sobre su contenido, en el Apartado 4.3.2: *Análisis del contenido conceptual puesto en juego en el desarrollo de las clases*, previo a la presentación del análisis de los datos.

Del contenido **de las hojas de los alumnos** se obtiene la información para completar la descripción del desarrollo de la propuesta. En lo que se refiere al tratamiento del contenido conceptual que se halla registrado en ellas, se lo trata de forma similar a como se procede con los datos provenientes de las observaciones. Se lo consigna en tablas conteniendo

proposiciones, especialmente preparadas a tal fin. Dichas proposiciones se explican con detalle más adelante en el Apartado 4.3.2.

PROPOSICIONES	Actividades 1 y 2 (a12)	Actividad 3	Actividad 4
SISTEMA			
S1) Un <i>sistema</i> queda definido por determinadas <i>sustancias intervinientes</i>			
S2) En un <i>sistema cerrado</i> puede tener lugar un <i>cambio reversible</i>			
S3) Un <i>cambio reversible</i> puede ser una <i>reacción química</i>			
S4) El <i>cambio reversible</i> ocurre según la <i>relación estequiométrica</i>			
EQUILIBRIO			
E1) En un <i>cambio reversible</i> tienen lugar <i>dos procesos simultáneos</i>			
E2) Los <i>dos procesos simultáneos</i> pueden alcanzar $v_1=v_2$			
E3) Un <i>cambio reversible</i> puede dar lugar a un <i>equilibrio dinámico</i>			
E4) El <i>equilibrio dinámico</i> se alcanza cuando $v_1=v_2$			
E5) En el <i>equilibrio dinámico</i> coexisten todas las <i>sustancias intervinientes</i>			
E6) La <i>relación estequiométrica</i> no determina el <i>número de moles de sustancias intervinientes</i> , presentes			
E7) El <i>equilibrio dinámico</i> se alcanza en un <i>sistema cerrado</i>			
E8) El <i>equilibrio dinámico</i> se da cuando es constante la <i>temperatura</i>			
E9) El <i>equilibrio dinámico</i> está caracterizado por la <i>constante de equilibrio</i>			
EQUILIBRIO – CONSTANTE – CONCENTRACIÓN			
C1) La <i>constante de equilibrio</i> varía con la <i>temperatura</i>			
C2) La <i>constante de equilibrio</i> es una relación de <i>concentraciones de sustancias intervinientes</i>			
C3) La <i>concentración de sustancias intervinientes</i> es constante si se trata de la <i>concentración de fase condensada</i> .			
C4) La <i>concentración de fase condensada</i> no interviene en la <i>constante de equilibrio</i>			
C5) El <i>equilibrio dinámico</i> no varía al variar la masa de fase condensada presente			
REPRESENTACIÓN			
R) \rightleftharpoons significa <i>equilibrio dinámico</i>			
OTROS			

$v_1=v_2$: igualdad de velocidad de los procesos simultáneos; Vg: volumen ocupado por la fase gaseosa

Tabla 3.1. *Listado de proposiciones iniciales para el análisis del desarrollo de la propuesta*

3.3.3 Análisis de las entrevistas

Para el análisis de las entrevistas se elabora una lista de proposiciones que contiene, inicialmente, las del mapa conceptual base, las cuales se agrupan en relación con las ideas de: sistema / reacción química; sistema en equilibrio dinámico; relaciones equilibrio dinámico -

constante de equilibrio - concentración y representación mediante ecuaciones. Esta lista base de proposiciones, es similar a la que se utiliza para consignar las proposiciones que surgen de la observación de las clases, según se comenta en el apartado anterior.

Para obtener los datos a analizar, se procede a transcribir textualmente cuatro de las diez entrevistas realizadas (las correspondientes transcripciones pueden consultarse en el Anexo 4). Sobre la base de la lista de proposiciones antes citada, se rescatan de las transcripciones de las entrevistas, las proposiciones que aparecen. También se rescatan algunas frases textuales que no pueden ser traducidas en las proposiciones previamente establecidas, pero que se consideran de interés. Estas proposiciones y expresiones de los entrevistados, se constituyen en las unidades de análisis.

Producidas las primeras transcripciones y analizadas de esta manera, se las utiliza como base para obtener, de las grabaciones de audio de las restantes entrevistas, la información relevante para el estudio, esto es, rescatar las proposiciones que aparecen en cada una de ellas. La tabla completa con las proposiciones presentes en las diez entrevistas, se muestra en el Apartado 5.2, correspondiente al *Análisis de los resultados de aprendizaje*.

A partir de la tabla de proposiciones, se construyen los mapas cognitivos de cada una de las entrevistas realizadas. Los mapas, para interpretar y describir las concepciones de los estudiantes, expresadas en el contexto de entrevistas personales han sido introducidos por Novak y Gowin (1988). Estos autores han denominado mapa cognitivo a la representación de lo que cree el investigador que es la estructura conceptual del entrevistado. Se trata de un procedimiento de análisis adecuado cuando se apunta a la comprensión de las concepciones de los estudiantes, sobre varios aspectos interrelacionados. Los mapas permiten exhibir el contenido de las entrevistas, a través de una representación completa y no fragmentada del conocimiento (Novak y Gowin; 1988, cap. 7). Esta técnica de análisis de entrevistas ha sido utilizada en estudios interpretativos sobre el aprendizaje de diferentes temas, con alumnos de distintos niveles educativos (Novak y Musonda, 1991; Pendley, Bretz y Novak, 1994), como así también, para el análisis de respuestas a preguntas abiertas, en evaluaciones (Nieda Oterino y otros, 1986), en las que resulta central extraer el contenido conceptual presente. También se ha revelado útil en estudios con docentes en los que se analizan sus concepciones sobre la

naturaleza de las ciencias, (Bermejo, González y Mellado, 2004) y con investigadores en Física, con los que se analiza su concepción acerca de la enseñanza y el aprendizaje de la Física (Henderson y otros, 2003).

Una vez obtenidos los mapas a partir de las entrevistas, se hace un análisis de la riqueza conceptual de cada una de ellas, por comparación de los mapas correspondientes, con el mapa conceptual elaborado como base. Ello permite detectar algunas particularidades de la aplicación de las entrevistas, como así también elegir las que habrán de incluirse en un análisis más detallado que permita profundizar en el estudio del conocimiento conceptual.

A partir de los diez mapas cognitivos correspondientes a las entrevistas (Anexo 5) se calculan los índices de similitud de los mismos, en relación con el mapa base (McClure, Sonak y Suen; 1999). El indicador de similitud resulta de tener en cuenta para la comparación, todas las relaciones diferentes del mapa base y del mapa a analizar, que incluyen un concepto. Para determinarlo, se calcula la suma de los índices para todos los conceptos de un mapa, y se divide por el número total de conceptos del mapa base.

Se procede de la siguiente manera, para cada mapa cognitivo:

- Se obtiene primero un índice para cada concepto (**IC**) (expresión 3.2), que surge del cociente entre el número de relaciones que lo contienen en el mapa (n_{MCx}) y el número total de relaciones en las que se puede considerar involucrado (n_{total}). Este número surge de considerar la unión entre las relaciones del mapa base que incluyen al concepto (n_{MCbase}) y las que lo contienen, en el mapa a analizar (n_{MCx}) (expresión 3.1)

Para un concepto determinado:

$$n_{total} \text{ surge de: } n_{MCbase} \cup n_{MCx} \quad (3.1)$$

$$ICx = n_{MCx}/n_{total} \quad (3.2)$$

- Se calcula luego el índice para cada mapa cognitivo (**IMC**), como la suma de los índices correspondientes a cada uno de los 15 conceptos que forman el mapa base, dividido 15 (expresión 3.3):

$$IMC = \sum ICn / 15 \quad (3.3)$$

Se realiza este cálculo como una forma de conocer lo que realmente ocurre durante las entrevistas, en qué medida se ha trabajado en ellas, el conocimiento conceptual que se pretendía poner en juego, teniendo en cuenta que ello depende no sólo del desempeño del entrevistado en relación con el contenido objeto de estudio y de la experiencia de la entrevistadora, sino también de que otras cuestiones relativas a la situación en la que se realiza la investigación, fundamentalmente, que se trata de estudiantes que se están adaptando al ámbito universitario.

A continuación se realiza un análisis global del conocimiento conceptual puesto en juego en las diez entrevistas, que se completa con el análisis de cuatro casos, en los que se trabaja lo ocurrido con el conocimiento conceptual, atendiendo fundamentalmente a la vinculación de la incorporación a la estructura de los aspectos más salientes del equilibrio químico, y las ideas de reacción química y el uso del modelo microscópico, en cada uno de ellos. Las descripciones de los cuatro casos se presentan al final del Apartado 5.2.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA PROPUESTA

En este capítulo se trabaja concretamente sobre el Objetivo 2 del presente estudio: *Analizar en qué medida la propuesta desarrollada en el aula responde a las directrices con las cuales fue planteada* (Apartado 1.9). Se diferencian los siguientes apartados:

4.1: Caracterización inicial de algunas ideas del grupo de alumnos.

Se presenta el análisis de los resultados obtenidos para una parte del grupo de estudiantes con los que se ha de llevar adelante la intervención, en relación con las ideas que poseen acerca de reacción química y la utilización que hacen del modelo cinético molecular.

4.2: Algunas consideraciones didácticas para la revisión de la propuesta:

Se plantean las adaptaciones de la propuesta, realizadas teniendo en cuenta los resultados obtenidos respecto a sus ideas sobre reacción química y sobre cómo utilizan el modelo cinético molecular.

4.3: Evaluación de la implementación de la propuesta en el aula:

Se presentan en este apartado los resultados del seguimiento de la aplicación de la propuesta en el aula. Dichos resultados han sido obtenidos a partir de la observación directa y de las hojas de los alumnos, tratados de la siguiente manera:

4.3.1: *Análisis del desarrollo de las clases*

Para el análisis de la implementación de la propuesta y del rol del profesor, se utiliza el registro descriptivo de las clases y las hojas de los alumnos para intentar responder preguntas tales como: ¿En qué medida se sigue en clase la secuencia y las indicaciones metodológicas de la propuesta didáctica? ¿Cuál es el rol del profesor? ¿Se utilizó el modelo microscópico de la materia para interpretar, describir y explicar? ¿Cómo y en qué medida? ¿Se llevó adelante la instrucción trabajando integrada y equilibradamente con los tres niveles de representación e interpretación (macro, micro y simbólico)?

4.3.2: *Análisis del contenido conceptual puesto en juego en el desarrollo de las clases*

Para el análisis de la estructura conceptual del conocimiento hecho explícito en el aula -como se explica en el Capítulo 3: Estrategias para la investigación de la propuesta- a partir del registro descriptivo de las clases se rescatan las proposiciones trabajadas y se vuelcan en una representación que permita comparar la estructura conceptual deseada, con la que realmente se trabajó en el aula en gran grupo. Además, se hace lo propio con las hojas de los alumnos, de forma tal que la información extraída de ellas resulte complementaria de la anterior.

4.1 Caracterización inicial de algunas ideas del grupo de alumnos

En este apartado se describe la evaluación de las ideas de los alumnos, realizada mediante una prueba de lápiz y papel, sobre los conceptos y modelos relacionados con el de equilibrio químico, antes de desarrollar la propuesta didáctica. Cabe recordar que la citada prueba aporta resultados que son relevantes tanto para ser utilizados como datos en la investigación del aprendizaje como para reajustar la propuesta didáctica al grupo de estudiantes en cuestión y activar los conocimientos que los alumnos poseen en relación con estos temas.

La prueba se aplicó en dos versiones (A y B) (ver Apartado 3.2.1: *Prueba inicial*), cada una de las cuales fue administrada a una comisión o grupo de trabajo de alumnos, en diferentes fecha y horario (la versión A fue administrada cinco días antes que la B), dentro de los últimos 10 días del curso de *Introducción a las Ciencias Básicas*, previo al inicio de la asignatura *Química*

Biológica. Ambas estuvieron a cargo de uno de los profesores del curso que luego sería el docente involucrado en la intervención didáctica y responsable de la asignatura antes citada.

Los resultados que se presentan, como se dijo en el Capítulo 3, son los que corresponden a los estudiantes del grupo de clase que resolvieron dicha prueba. Se trata de 12 alumnos que han resuelto la versión A y 21 alumnos, la versión B. Cuatro alumnos voluntarios, respondieron las dos versiones de la prueba, como integrantes de cada una de las comisiones.

4.1.1 Uso del modelo cinético molecular. Items 1.a y 1.b

Versión A de la prueba

Se transcriben en el Cuadro 4.1a los enunciados del Ítem 1 para la versión A de la prueba. En esta versión se plantean preguntas de respuesta abierta que implican explicaciones del fenómeno de la evaporación.

Los resultados se examinan prestando especial atención en averiguar si los alumnos utilizan un modelo de materia en sus explicaciones y qué uso hacen de él.

Versión A

Trata de responder a las dos preguntas siguientes utilizando un modelo de cómo está constituida la materia.

1. a - ¿Por qué se seca un plato mojado que se deja sobre la mesada de la cocina?

1. b - ¿Existe, a tu criterio, alguna diferencia entre lo que le ocurre al contenido de dos frascos iguales, el primero lleno con agua y el otro con alcohol, cuando se dejan ambos destapados, a temperatura ambiente, durante 10 minutos? Explica brevemente.

Cuadro 4.1a. *Item 1 para la versión A de la prueba previa*

Se tienen respuestas de 12 alumnos, las cuales aparecen en la Tabla 4.1. Cada uno está identificado por el número que le corresponde en el listado de alumnos. Algunos están identificados, además, con un número entre paréntesis que hace referencia al número de entrevista que se les asigna a algunos de ellos más adelante, en este mismo trabajo, cuando se realiza el estudio de lo ocurrido con el aprendizaje. Esta doble referencia permite ubicar

rápidamente los casos de los diez alumnos con los que se estudia posteriormente lo que ocurre con el aprendizaje. Esta aclaración es válida para todas las tablas de este apartado.

Respuestas		Número de lista													
Tipo	Ejemplos	15	37 (8)	43	50	68	88	90	93	106	120 (5)	124	126	f	
1.a	mi													0	
	M	Se seca por evaporación			X				X	X				3	
	mi Alt	Las moléculas de agua se evaporan, pasan de estado líquido a estado gaseoso		X										1	
	M Alt	El agua se evapora por la T ambiente.		X			X	X				X	X	5	
	Alt	El plato se seca porque está en contacto con el aire	X			X	X							3	
	NC											X		1	
1.b	mi													0	
	M	Alcohol se evapora más rápido	X		X	X	X	X			X			8	
		Alcohol y agua no se evaporan al mismo tiempo porque son diferentes sustancias		X											
	mi Alt													0	
	M Alt	El alcohol se evapora más rápido porque el agua es más pesado								X			X	X	4
		Se evaporan los dos la misma cantidad									X				
NC														0	

Tabla 4. 1. Respuestas al ítem 1, por alumno, para la versión A de la prueba (n=12 alumnos)

Las respuestas han sido agrupadas en macroscópicas (M) y microscópicas (mi). En la categoría respuestas macroscópicas se incluyen aquellas que se limitan a describir fenomenológicamente lo que ocurre, esto es, las que resultan una descripción de lo observable, utilizando alguna terminología científica. Tal es el caso de: *El alcohol se evapora más rápido que el agua*. Como así también, las que dicen, por ejemplo para la evaporación del agua: Se seca porque el agua se evapora. En la categoría respuestas microscópicas se incluyen explicaciones que utilizan elementos del modelo cinético molecular. Se identifican también dentro de cada categoría, aquellas respuestas que interpretan los fenómenos propuestos en términos de explicaciones alternativas a las científicas. Interesan tanto las macroscópicas alternativas (M alt) como las microscópicas alternativas (mi alt) porque si bien el objetivo fundamental es determinar el uso que hacen los alumnos del modelo microscópico, también es importante tener en cuenta las demás concepciones alternativas a la hora de diseñar la instrucción. En la categoría alternativas (Alt) se ubican aquellas respuestas que son una expresión, en lenguaje cotidiano, de lo observable, que no hacen referencia siquiera a la evaporación: *El plato se seca porque está en*

contacto con el aire. No son consideradas como explicaciones porque en ellas la evaporación no se hace explícita como tal.

Cuando los alumnos responden a la situación planteada en el ítem 1.a, tres dicen solamente que el agua se evapora, respuesta que se incluye entre las denominadas macroscópicas (M); cinco alumnos intentan asociar una causa a que el agua se evapora: *El agua se evapora por la temperatura ambiente*. Este tipo de respuesta se considera alternativa (Malt) porque el hecho de que se seque el plato, por evaporación del agua, parecería que se piensa necesariamente, asociado a una causa que lo provoca. Ello denota una tendencia a identificar la causa que "provoca" determinado efecto, característica propia del pensamiento cotidiano, en el cual la causalidad lineal es uno de los principios conceptuales, en lugar de la interacción entre los componentes de un sistema (Pozo y Gómez C., 1998).

No aparecen respuestas de tipo microscópico, esto es, no hay respuestas que incluyan elementos del modelo microscópico, excepto la del alumno 37: *Las moléculas de agua se evaporan*. Es una explicación microscópica alternativa que parecería estar mostrando una idea de que cada molécula está evaporándose independientemente. La respuesta al ítem 1.b, del mismo alumno, si bien no habla explícitamente en términos microscópicos, propone que las diferencias observables entre el alcohol y el agua, tienen que ver con que se trata de sustancias diferentes. Ello podría ser una expresión de una interpretación en términos de diferencias de estructura de las sustancias. Las demás respuestas para el ítem 1.b son todas macroscópicas; cuatro de ellas son alternativas.

Como puede apreciarse, en general las respuestas no incluyen elementos del modelo microscópico, a pesar de que en el enunciado del ítem se pide explícitamente que se haga uso del mismo.

Versión B de la prueba

En la versión B, en cambio, se presentan una pregunta de opción múltiple, y otra de respuesta abierta, ambas referidas al fenómeno de la difusión (Cuadro 4.1b). En las dos oportunidades se

les indica a los alumnos expresamente que hagan uso de un modelo microscópico de la materia, para interpretar las situaciones que se les presentan.

Versión B

Trata de responder a las dos preguntas siguientes utilizando un modelo de cómo está constituida la materia.

1. a - Elige la opción que consideres más correcta:

Cuando destapas un frasco de perfume, al cabo de cierto tiempo se nota su aroma a cierta distancia. ¿Cómo crees que se mueven los vapores de perfume en la habitación?

- a) Se mueven como las ondas que se producen al echar una piedra en un tanque.
- b) El aire se aparta por ser menos denso, dejando pasar al perfume.
- c) Cada partícula de perfume se mueve constantemente en cualquier dirección entre las partículas de los demás componentes del aire.
- d) El aire arrastra las partículas de perfume.
- e) Ninguna de las anteriores (especificar).

1. b - Cuando se echa una gota de colorante en un vaso con agua, al cabo de cierto tiempo el agua se colorea completamente. ¿Cómo puedes explicar este hecho?

Cuadro 4.1b. *Item 1 para la versión B de la prueba previa*

La elección de la opción a) corresponde a una respuesta de las llamadas alternativas (Alt), esto es, una expresión en lenguaje cotidiano de lo observable, mientras que la b) podría considerarse del tipo macroscópica alternativa (MAIt). La opción c) es una respuesta de tipo microscópica (mi), mientras que la opción d) denotaría una concepción alternativa (mi Alt) en la que se estaría otorgando comportamiento macroscópico a las partículas y un protagonismo especial al aire, como si fuesen las partículas de aire las únicas que poseen movimiento y eso les permite arrastrar al perfume. Se ha incluido además una opción abierta para que se elabore una respuesta diferente a las dadas o se reelabore alguna de las presentadas.

El número de cada tipo de respuesta a las situaciones cotidianas planteadas y el detalle de las respuestas alumno por alumno, se muestran en la Tabla 4.2, para los 21 integrantes de este grupo. Puede apreciarse, en dicha tabla, que para el ítem 1.a, hay nueve alumnos que eligen la respuesta microscópica correcta (opción c) y ocho que eligen la respuesta microscópica alternativa: *El aire arrastra las partículas de perfume* (opción d). Esta última respuesta aparece con una frecuencia importante que es necesario analizar.

		Número de lista																					
Opc	Tipo	18	30	32	37	38	48	49	57	59	68	76	88	90	100	102	108	110	111	113	129	130	f
				(1)	(8)		(7)	(3)	(2)														
1.a	c	mi	X	X			X	X							X	X	X	X		X			9
	d	mi Alt							X	X	X	X	X	X							X	X	8
	b	M Alt	X			X	X																3
	----	NC																	X				1
1.b		mi		X	X			X							X	X	X						6
		M				X	X		X												X		4
		miAlt			X							X		X								X	4
		Alt	X								X		X										3
		NC							X						X				X	X			4

Tabla 4. 2. Respuestas al ítem 1, por alumno, para la versión B de la prueba (n=21 alumnos)

En tal sentido, un trabajo desarrollado con alumnos de diferentes edades entre 14 años y estudiantes universitarios (Gutiérrez J. y otros, 2002), muestra que los estudiantes de todas las edades parecen aceptar muy bien el movimiento intrínseco de las partículas en el modelo de materia, cuando dan explicaciones en sistemas gaseosos, pero los propios autores interpretan, en función de los demás resultados obtenidos, que ello puede significar una atribución de propiedades macroscópicas, dado la apariencia con que se perciben habitualmente los gases. Tres estudiantes optan por la respuesta macroscópica alternativa (M alt) y un alumno no contesta este ítem y tampoco el siguiente (1. b).

Lo notable es que para la respuesta al ítem 1.b se da una interesante dispersión: seis alumnos elaboran respuestas microscópicas que pueden considerarse adecuadas (Ej.: *Las partículas de agua se mueven entre las de colorante*) aunque parciales. Además, esto podría estar denotando un protagonismo especial del agua en la difusión, que ha sido registrado también en otros trabajos que han analizado la interpretación de este tipo de fenómenos utilizando el modelo de materia (Haidar y Abraham, 1991)

Las respuestas de este tipo que se obtienen corresponden a alumnos que también para el ítem anterior eligen la opción c). Sus interpretaciones del fenómeno de difusión estarían mostrando una concepción incompleta del modelo de materia, en cuanto no tienen en cuenta la interacción entre las moléculas y no hacen explícito el movimiento de las partículas de colorante. Del mismo tipo son las mejores respuestas que obtienen Haidar y Abraham (1991) en un estudio con 183

alumnos de Química de 17 años de edad, en el que uno de los objetivos es indagar el uso que hacen del modelo de materia para interpretar conceptos tales como disolución, estados de la materia, efusión y difusión. Otros cuatro alumnos construyen respuestas, también microscópicas, pero alternativas (Ej.: *El colorante "tiñe" a las moléculas de agua*).

Las respuestas macroscópicas son cuatro y pueden considerarse correctas (Ej.: *Porque el colorante es soluble en agua*) y tres, son respuestas alternativas (Alt) del tipo: La gota de colorante se va expandiendo por el líquido, que no se han considerado explicaciones sino más bien, una expresión, en lenguaje cotidiano, de lo observable.

La Tabla 4.2 permite analizar además, si existen diferencias entre los tipos de respuestas elaboradas, para las dos situaciones planteadas en la prueba. Se observa que de los nueve alumnos que eligen la respuesta microscópica al ítem 1.a (ítem de opción múltiple, respuesta cerrada), seis son los únicos que intentan una explicación microscópica a la difusión del colorante (ítem 1.b, de respuesta abierta). De los tres alumnos restantes, dos no contestan el ítem 1.b, y el otro da una respuesta macroscópica.

De los ocho alumnos que eligen una respuesta microscópica alternativa al ítem 1.a, tres explican también el ítem 1.b de forma alternativa; dos en términos microscópicos diciendo por ejemplo, que *Las moléculas de colorante tiñen las moléculas de agua*; y los otros dos, en términos macroscópicos. De los restantes cinco alumnos, dos dan respuestas macroscópicas alternativas, otros dos dan respuestas macroscópicas adecuadas y uno no contesta al ítem 1.b. Parecería estar presente una concepción alternativa que se repite en muchos de los trabajos que investigan el uso del modelo de partículas por los alumnos (Gutierrez y otros, 2002; Rohr y Reimann, 1998) los cuales presentan respuestas que muestran que hay confusión entre elementos del modelo microscópico y las ideas a nivel macroscópico de los fenómenos. Los alumnos interpretan los fenómenos en términos de partículas pero superponiendo esta interpretación con el nivel macroscópico.

En esta versión de la prueba, si bien algunos alumnos dan respuestas de tipo macroscópicas, como por ejemplo: *Se produce difusión ó El colorante es soluble en agua (ítem 1.b)*, parecería que incluir un ítem de opción múltiple pudo haber servido para que intenten hacer uso del

modelo microscópico en su respuesta al otro ítem. Además, podría pensarse que, aunque se haya comprendido el modelo microscópico, no se lo utiliza, para dar una explicación de la situación planteada, si no resulta indispensable hacerlo.

Haidar y Abraham (1991), encontraron que cuando a los alumnos se les pregunta por fenómenos químicos, usando lenguaje cotidiano, evitan el uso del modelo de partículas. Los alumnos usan términos macro cuando se les pregunta sobre situaciones cotidianas. Más aún, un 23% de los alumnos usa explicaciones generales aún cuando se les indicó usar explicaciones moleculares. Pero si se analizan los cuatro casos de alumnos que resuelven las dos versiones de la prueba (37, 68, 88, 90), se aprecia que, tres de ellos, que dan respuestas macroscópicas a los dos ítem en la versión A, cuando posteriormente resuelven la versión B, eligen la respuesta microscópica alternativa en el caso de la difusión en aire y para la difusión del colorante, dos elaboran respuestas alternativas y uno microscópica alternativa. Ello permitiría decir que los estudiantes dan explicaciones macroscópicas a lo observado a pesar de que se les pida explícitamente otro tipo, no sólo porque evitan usar el modelo sino también porque no han elaborado un modelo adecuado.

De lo anterior podría inferirse que los estudiantes prefieren las explicaciones macroscópicas de los fenómenos muy probablemente porque no están familiarizados a elaborar explicaciones utilizando el modelo cinético molecular; dan explicaciones macroscópicas a lo observado a pesar de que se les pida explícitamente otro tipo de interpretación. Son muy pocos los estudiantes que parecen activar un modelo, aunque incompleto, que les permite elaborar explicaciones microscópicas de los fenómenos en cuestión. Una expresión más de ello podrían ser los tres alumnos de la versión B, que habiendo elegido la respuesta que involucra el modelo en el ítem 1.a, no contestan el ítem 1.b ó dan una respuesta macroscópica. Parecería que la respuesta de opción múltiple los hace pensar en términos de modelo microscópico, pero ello no alcanza en todos los casos para que sean capaces de elaborar sus propias explicaciones en otras situaciones.

Como todos los alumnos del grupo han participado en el curso anterior de introducción a la Universidad, es posible asegurar que poseen alguna idea sobre la naturaleza discontinua de la materia. No debe extrañar que se obtengan estos resultados ya que si bien hay trabajos

(Novick y Nussbaum, 1981), que han estudiado la evolución del modelo de materia discontinua en alumnos entre 11 años y la universidad y han podido comprobar que las respuestas van evolucionando en lo que se refiere a la aplicación del modelo, hay otros trabajos que muestran que existen aspectos del mismo, como por ejemplo la aceptación del movimiento intrínseco de la materia que resultan más relegados en dicha evolución (Llorens Molina, 1991).

4.1.2 Algunos aspectos de la concepción de reacción química

Los dos apartados siguientes de la prueba (ítem 2 y 3), se incluyen para estudiar algunos aspectos de la concepción de reacción química que poseen los alumnos, a partir de las dos formas de representación: la ecuación química y el dibujo de una representación molecular.

No se intenta aquí abarcar todos los aspectos que implica la concepción de reacción química, sino que se ha limitado el estudio a conocer: ¿Cuál es la principal información que obtienen los alumnos de una ecuación química? ¿La conciben sólo como una relación de cantidades de cada especie que se combinan para dar una cantidad determinada de productos ó pueden extraer de ella otra información, en relación, por ejemplo, a cómo ocurre la reacción que se está representando (proceso dinámico e interactivo)? ¿Diferencian -y en qué términos- la representación de un sistema reversible de uno que no lo es? ¿Pueden interpretar representaciones moleculares de reacciones químicas? ¿Cómo vinculan los alumnos el cambio químico y su interpretación microscópica, cuando se les plantea explícitamente dicha representación de una porción del sistema químico?

Es necesario tener en cuenta que para el químico, la ecuación conlleva información acerca de:

- los aspectos estructurales, interactivos y dinámicos de la reacción, esto es, los símbolos representan especies moleculares (átomos, moléculas, iones). Si aparece la fórmula H_2O , se trata de una molécula de agua. $H_2O(g)$ implica que el compuesto molecular agua se halla en estado gaseoso, esto es, muchas moléculas de agua en constante movimiento. En una reacción química se rompen enlaces y se forman otros nuevos, por interacción dinámica de las partículas entre sí.
- El aspecto energético de la reacción

- Los aspectos macroscópico y cuantitativo de la reacción, dados por las propiedades de las especies involucradas y por la relación estequiométrica.

Para los alumnos probablemente la ecuación química representa poco más que una ecuación matemática.

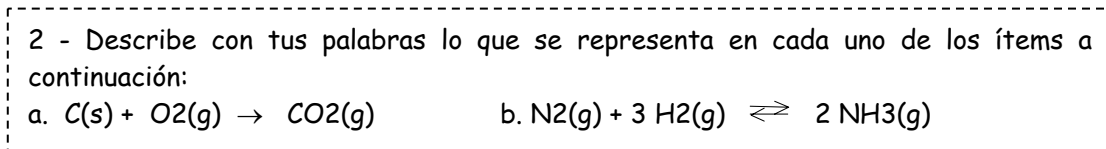
Por su parte, la idea de reacción reversible, no es muy estudiada durante la instrucción en Química en la enseñanza secundaria, ya que normalmente se trabaja con ejemplos de reacciones que ocurren hasta completarse.

La interpretación del proceso a nivel molecular, se indaga también a partir de representaciones moleculares ya que, como se ha planteado, una de las herramientas centrales de esta propuesta es la utilización del modelo de materia en la interpretación de los sistemas en equilibrio dinámico. En un trabajo anterior (Caruso y otros, 1998), en el que se presentó a los estudiantes una cuestión similar a la del Ítem 3, se encontró que alumnos de 16 años que se hallaban cursando Química a nivel de educación secundaria en Argentina, frente a representaciones microscópicas de posibles sistemas de reacción química, dieron respuestas que muestran que activan antes la representación macroscópica de la reacción química que la microscópica, aún cuando se les presenta una pregunta elaborada sobre la base de representaciones moleculares. Este resultado es relevante dado que la otra preocupación central de la propuesta de enseñanza objeto de esta tesis, radica en conseguir un trabajo integrado en los tres niveles de representación y comprensión en Química (macroscópico, microscópico y simbólico). Hay estudios recientes con alumnos españoles (Solsona y otros; 2003) que se hallan finalizando la educación secundaria (18 años) que muestran la dificultad que presenta para ellos relacionar la concepción macroscópica de reacción química, y la microscópica.

Interpretación de las reacciones representadas por ecuaciones químicas. Items 2.a y 2.b.

Se analizan las respuestas obtenidas para este ítem para conocer qué componentes se incluyen en descripciones de lo que representa la ecuación. Se trabaja sobre la base de que podrían identificarse componentes de los dos niveles de descripción: el macroscópico (relacionado con

los cálculos estequiométricos y los cambios directamente observables) y el microscópico (relacionado con la dinámica de la reacción y con el cambio de estructura debido a la ruptura y formación de enlaces nuevos durante la reacción). El ítem se ha transcrito en el Cuadro 4.2:



Cuadro 4.2. Ítem 2

Las respuestas se han agrupado, para el análisis, en las siguientes categorías, las cuales pueden considerarse relacionadas con los distintos niveles de conceptualización alcanzados para el concepto de reacción química, que ya fueron discutidos en el Apartado 2.2.1: *El conocimiento conceptual*.

- Respuestas que simplemente mencionan el nombre del proceso que está ocurriendo (N) ó que mencionan a la/s sustancia/s que se está/n formando. Por ejemplo: *oxidación*, o *se está formando dióxido de carbono*, o *se está formando amoníaco*.
- Respuestas que describen macroscópicamente lo que estaría representando la ecuación (M). Por ejemplo: *un mol de nitrógeno y tres moles de hidrógeno reaccionan formando dos moles de amoníaco*. En estos casos se han diferenciado entre las descripciones que incluyen relaciones estequiométricas (ME) como la respuesta antes citada, y las que no lo hacen (M).
- Respuestas que describen desde un enfoque microscópico lo que están representando las ecuaciones químicas dadas, pero incluyen términos microscópicos (átomos, moléculas) y tienen en cuenta relaciones estequiométricas (MmE) y las que no (Mm). No aparecen descripciones que puedan considerarse expresión de una conceptualización de ecuación química como representación de cómo ocurre el cambio, esto es, de una interpretación microscópica del proceso representado por la ecuación química.

Estos niveles se toman aquí simplemente de manera orientativa, puesto que no se pretende con este único ítem decidir qué concepto ha desarrollado el alumno, sino simplemente detectar cuales son las ideas que surgen primero, cuando el alumno se enfrenta a interpretar la información que involucra una ecuación química.

Para la segunda ecuación, el análisis de las respuestas contempla también si tienen o no en cuenta que se trata de la representación de una reacción química reversible. Aparecen entonces además, las categorías de respuesta:

- No tienen en cuenta la reversibilidad: (No). La respuesta se incluye en esta categoría cuando se describe la información que da una u otra ecuación, sin tener en cuenta que la representación 2.b corresponde a la de una reacción reversible.
- Reversibilidad no implica simultaneidad (RNS). Se incluyen en esta categoría aquellas respuestas al ítem 2.b que mencionan los dos procesos pero sin considerar que ocurren simultáneos.
- Tienen en cuenta la reversibilidad (Si). La descripción de lo que representa la segunda ecuación incluye la idea de simultaneidad de los procesos opuestos.

La forma de este ítem es la misma para las dos versiones de la prueba por lo que el análisis de los resultados se realiza en forma conjunta. La Tabla 4.3 muestra las respuestas alumno por alumno y los resultados globales (33 casos correspondientes a 29 alumnos). Es necesario recordar aquí que cuatro alumnos resuelven las dos versiones de la prueba, por lo cual aparecen repetidos en el detalle de resultados y se consideran como pruebas de alumnos diferentes a los efectos de contabilizar el número de casos que se analizan.

En la Tabla 4.3 se ve que, cuando se trata de describir lo que representa cada una de las ecuaciones planteadas (ítem 2.a y 2.b), se registran once alumnos que dan respuestas en las que sólo mencionan el nombre del proceso que está ocurriendo y/o de la sustancia que se ha formado, para ambos ejemplos, sin tener en cuenta la reversibilidad en el caso del segundo. Hay seis alumnos que no responden ninguno de los ítems.

Para los dos ítems hay diez respuestas que corresponden a descripciones macroscópicas de lo que ocurre (Ej.: Se unen el nitrógeno y el hidrógeno para dar dos moles de amoníaco) y de ellas sólo seis tienen en cuenta la estequiometría en la descripción (ME). Un ejemplo de este tipo de respuesta aparece aquí:

Un mol de nitrógeno y tres moles de hidrógeno, gaseosos, reaccionan formando dos moles de amoníaco gaseoso. Si este producto que se obtiene se descompone por distintos razones, formará nuevamente los reactivos que lo han producido. Reacción reversible.

(Alumno N° 37*)

		Número de lista																																		
2. a	Tipo de respuesta	15	18	30	32	37	37*	38	43	48	49	50	57	59	68	68*	76	88	88*	90	90*	93	100	102	106	108	110	111	113	120	124	126	129	130	f	
		MmE																X			X															X
	ME	X					X							NC	NC										X	X					X					5
	M		X			X						X								X									X							5
	N			X				X	X		X		X			X	X		X				X	X			X	X			X	X				14
2. b	MmE																X			X																2
	ME	NC	X		NC	X		X						NC	NC							NC			X	X					X				NC	6
	M					X		X												X															X	4
	N								X		X	X	X			X	X		X				X	X			X	X	X		X	X				14
	¿Tiene en cuenta reversibilidad?																																			
	Si							X																											1	
	RNS		X			X	X										X			X					X				X		X				X	9
	No				X				X		X	X	X			X	X		X	X			X	X	X		X	X		X		X				16

*: Versión B, segunda instancia de la prueba; MmE: describen incluyendo algún término microscópico y tienen en cuenta relaciones estequiométricas; ME: describen macroscópicamente y tienen en cuenta relaciones estequiométricas; M: describen macroscópicamente; N: nombran el proceso representado por la ecuación; RNS: reversibilidad no implica simultaneidad

Tabla 4.3. Respuestas al ítem 2, por alumno, para ambas versiones de la prueba (n= 33 alumnos)

La mayoría de las descripciones tipo ME y M de ambos ítems incluyen referencias al estado físico de las sustancias que intervienen. Sólo en tres (88, 90*, 130) aparecen descripciones que incluyen términos microscópicos. Un ejemplo de este tipo de respuesta: *una molécula de nitrógeno se une con tres de hidrógeno, para formar dos moléculas de amoníaco.*

El único alumno que considera adecuadamente la reversibilidad en el segundo ejemplo describe macroscópicamente sin tener en cuenta la estequiometría.

En general, independientemente del tipo de respuesta que se elabora para la segunda ecuación, no se tiene en cuenta el significado de la doble flecha. Nótese que hay 16 respuestas de diferente tipo al segundo ejemplo, que no tienen en cuenta la reversibilidad. Nueve proponen descripciones que estarían mostrando una idea inacabada del concepto de reversibilidad: las reacciones en sentidos opuestos pueden ocurrir, pero una reacción reversible no necesariamente implica dos procesos simultáneos (respuesta tipo RNS). Un ejemplo de ello es la respuesta correspondiente al alumno N° 37* transcrita antes.

Si se analizan los cuatro casos de los alumnos que responden a este mismo ítem en ambas instancias de desarrollo de la prueba se observa que sólo dos de ellos han incorporado algún elemento más a su descripción en la segunda instancia:

- Alumno 90: inicialmente responde describiendo macroscópicamente lo representado por la ecuación dada, sin tener en cuenta la estequiometría ni la reversibilidad, en la segunda instancia, su descripción incluye términos microscópicos y tiene en cuenta la relación estequiométrica, mostrando una idea de reversibilidad sin mencionar la simultaneidad de ambos procesos.
- Alumno 37: Elaboran en ambas ocasiones descripciones macroscópicas incluyendo en la segunda instancia, referencias a la estequiometría.

Doce alumnos nombran y/o describen macroscópicamente el proceso que se estaría representando en ambos casos y no tienen en cuenta la estequiometría ni la reversibilidad. Tres alumnos realizan descripciones similares en las que incluyen la estequiometría, pero no hacen referencia a la reversibilidad y otros tres, nombran o describen macroscópicamente, sin tener en cuenta la estequiometría pero incluyen alguna referencia a la reversibilidad, como si ambos procesos se dieran uno a continuación del otro (Ejemplo: Dos moles de amoníaco

gaseoso se obtienen y luego, por distintas razones, se descompone nuevamente en los reactivos que lo han producido: reacción reversible). Otros tres alumnos que muestran una interpretación de la reversibilidad similar a la de los anteriores, describen macroscópicamente ambos procesos y tienen en cuenta la estequiometría de la reacción.

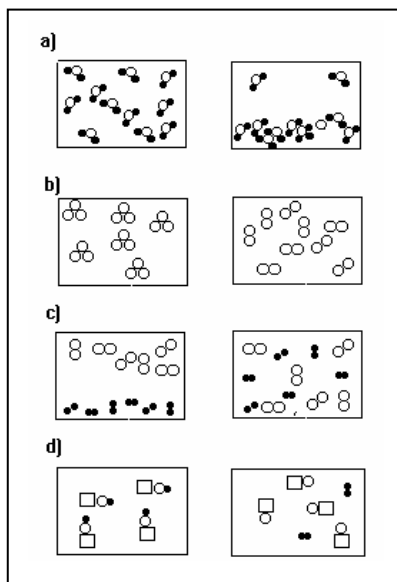
La idea que predomina entre los estudiantes del grupo que se estudia, es que la información que da la ecuación es básicamente sobre cuales son las sustancias que intervienen. Eso parece ser lo más relevante. No tienen demasiado en cuenta la estequiometría, pero sí el estado físico de las sustancias. Aparece muy presente la idea de que la reacción correspondiente progresa sólo de izquierda a derecha, según se representa por la ecuación y por ende, es poco tenida en cuenta la reversibilidad que indica la doble flecha. En los casos en que si está presente, es bastante claro que se la concibe como que la reacción se da hacia un lado y podría ocurrir hacia el otro, si se dieran las condiciones. Esto podría deberse a que es muy importante la influencia que tiene en el aprendizaje del concepto de reacción química, el trabajo con ecuaciones químicas que se presentan como ejemplos de reacciones completas irreversibles en las que lo relevante es saber cuanto necesito de determinado reactivo para obtener la cantidad deseada de producto.

Hay que tener en cuenta aquí, al igual que en el ítem anterior, que esta es quizá la primera vez que el estudiante se enfrenta a la resolución de este tipo de ejercicios, en los que se les pide explicar o describir, en clase de Química, en la que habitualmente cuando le presentan una fórmula tiene que nombrar y cuando le presentan una ecuación química tiene que calcular cuanto se forma. Este tipo de pruebas requiere del estudiante una forma diferente de pensar y hacer que ha de poner en práctica.

Interpretación de las reacciones representadas molecularmente. Ítem 3

Se pide que, dadas cuatro representaciones de lo que podría considerarse el contenido de un recipiente hipotético en dos momentos diferentes, se decida en cada caso si ha ocurrido o no una reacción química, justificando dicha decisión. En el momento de la prueba se aclara la consigna debidamente, esto es, se explica que las representaciones planteadas en cada ejemplo (que se presentan en el Cuadro 4.3, más abajo) corresponden al contenido del recipiente en dos

momentos diferentes y se insiste en la importancia de justificar, para cada caso, si pudo haber ocurrido o no una reacción química.



Cuadro 4.3. Ítem 3

De esta manera se pretende complementar la visión que se tiene, acerca del concepto de reacción química que poseen los estudiantes del grupo en cuestión, en los aspectos más salientes que preocupan para este trabajo. Dado que la forma en que se ha planteado el ítem, hace necesario que el alumno utilice explicaciones microscópicas, permite además tener información acerca del uso del modelo de materia que los alumnos pueden realizar.

Las respuestas se han considerado correctas cuando deciden por sí o por no de manera correcta y lo justifican adecuadamente. Esto implica, que para los ejemplos b) y d) deciden que sí hay reacción química y para los a) y c), que

no hay reacción química. Las justificaciones se han agrupado en:

- Tipo m1: entre ellas se han considerado las justificaciones que vinculan los niveles de representación macro y micro, de manera explícita; esto es, las que vinculan la ruptura y formación de enlaces (micro) con la formación de nuevas sustancias, a la hora de interpretar que ha ocurrido una reacción química.

Tipo m2: se trata de justificaciones que mencionan explícitamente, para interpretar que ha ocurrido una reacción química, que los átomos se unen distinto o que las moléculas que se han formado son distintas de las anteriores.

Tipo m3: son justificaciones menos explícitas en relación con los elementos del modelo microscópico que utilizan, ya que hablan de que ha cambiado o no la estructura, de manera general, para justificar que ha ocurrido o no una reacción química.

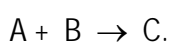
Tipo m4: son justificaciones que podrían considerarse elaboradas en términos macroscópicos, por ejemplo: *Hay reacción química porque aparecen sustancias nuevas*. No obstante, este tipo de respuesta también implica que el alumno ha hecho una representación microscópica de la situación.

Igual que para el ítem 2, los resultados obtenidos con la aplicación de las dos versiones de la prueba se analizan en forma conjunta dado que la manera en que se plantea este ítem es la misma para los dos casos.

La Tabla 4.4 muestra las respuestas a los cuatro ejemplos correspondientes a este ítem. Las mismas han sido separadas en correctas, incorrectas y no contesta. Dentro de las dos primeras categorías, se diferencian, para cada respuesta, las justificaciones que aparecen, consignando en el casillero correspondiente el tipo de justificación (m1, m2, m3, m4) ó nJ, en caso de que la respuesta no haya sido justificada. Un análisis global permite ver que:

- Hay diez pruebas en las cuales no se da respuesta a este ítem.
- La mayoría de las respuestas resultan correctas y las justificaciones que predominan son las tipo m2 (*las moléculas que se forman son distintas*). Hay muy pocas justificaciones tipo m1, esto es, justificaciones que vinculan explícitamente lo macroscópico con lo microscópico; y m4 (*Hay reacción química porque aparecen sustancias nuevas*).
- El número de respuestas correctas para los cuatro ejemplos es bastante similar. La mayoría de las respuestas incorrectas corresponden al ejemplo a y muchas de ellas, son de alumnos que han justificado bien las demás opciones. Si se comparan el número de respuestas correctas y de respuestas incorrectas para los cuatro ejemplos, podría pensarse que los dos primeros ejemplos han sido más complicados de abordar que los dos siguientes. Estos últimos pueden resultar conocidos a los estudiantes, dado que se trata de representaciones que probablemente han utilizado y/o han encontrado frecuentemente en los libros de texto de Química. Nótese que el *ejemplo c* es la representación de una mezcla, que suele aparecer en los textos. En el caso del *ejemplo d*, la presencia de diferente tipo de átomos unidos formando distintas moléculas, resulta más claramente una representación de una reacción química, que aquella en la que las diferentes sustancias están formadas por átomos iguales (*ejemplo b*).

En un trabajo anterior (Caruso y otros, 1998) se encontró que algunos alumnos no conciben que pueda existir reacción química entre todos átomos de la misma especie, lo cual se considera puede deberse a la gran influencia de la idea de ecuación química como:



Esto podría justificar que algunos como por ejemplo el alumno 124, que decide y justifica adecuadamente los ejemplos a, c y d, responden de manera incorrecta al caso b.

Ejem- plo	Res- puesta	Número de lista																																		
		f	15	18	30	32	37	37*	38	43	48	49	50	57	59	68	68*	76	88	88*	90	90*	93	100	102	106	108	110	111	113	120	124	126	129	130	
						(1)	(8)	(8)			(7)	(3)		(2)																(5)						
a	C	14		m2		nJ	m2	m2			nJ	m2		nJ										m4	nJ		m4			m3		m3	nJ			
b	O	17		m2	m2	m1	m2	m2			nJ	m2		m1	m2			m2		m3		m3			m3		m2	nJ		m2				m2		
c	R	19		m2	m2	m2	m2	m2			nJ	m2		m2	m2			m4		m3		m3			nJ		m4			nJ		m3	nJ	m2	nJ	
d	R.	19		m2	m1	m1	m2	m2			nJ	m2		m2				m2		m3		m3			nJ		m2	nJ		nJ		m3	nJ	m2	m2	
a	I	8			nJ									m3					nJ	m2		m2											m3	m3		
b	N	5									nJ									nJ				m3							nJ	nJ				
c	C	3																		nJ				m4				nJ								
d	R.	2																		nJ				nJ												
a	NC	11	X							X			X			X	X				X	X			X		X	X		X						
b		11	X							X			X			X	X				X	X			X			X	X		X				X	
c		11	X							X	X		X			X	X				X	X			X			X	X		X					
d		12	X							X	X		X		X	X	X	X				X	X			X			X	X		X				

m1: Se rompen enlaces y se forman moléculas nuevas, que corresponden a sustancias nuevas; m2: Los átomos se unen distinto; m3: Las moléculas que se forman son distintas; m4: Cambia la estructura; m5: justificación macroscópica (Ej.: Aparecen compuestos nuevos); nJ: no justifica

Tabla 4.4. Respuestas al ítem 3 de la prueba, por alumno, para ambas versiones de la prueba (n=33 alumnos)

- Cuatro alumnos responden a todos los ejemplos utilizando un único tipo de justificación y dan respuestas correctas en todos los casos. Las justificaciones son tipo m2. En estos casos podría pensarse en la existencia de un único modelo de reacción química aplicable a las diferentes situaciones.
- La mayoría de las respuestas incorrectas no están justificadas, excepto aquellas que corresponden al ejemplo a, para el cual se utiliza el argumento de que hay cambio de estructura (m3), para decidir que se trata de una reacción química. Si bien la respuesta no es correcta, estaría mostrando, al menos en los casos en que la interpretación de los demás ejemplos es correcta, que también se está utilizando un mismo modelo microscópico.
- Entre quienes dan respuestas diferentes para cada ejemplo, parecen elegir el tipo de justificación que les resulta más adecuada a cada representación planteada. Por ejemplo, el alumno 32 da respuestas del tipo *se rompen enlaces formando nuevas moléculas* para los dos casos en los que necesita explicar que hay reacción química, y sólo dice las moléculas son las mismas, cuando se trata de justificar que la representación dada en el ejemplo c no es una reacción química. Algo similar ocurre con el alumno 76 que justifica los ejemplos b y d usando una aseveración del tipo: *hay cambio en la estructura pero para el caso c sólo dice hay una disolución de una sustancia en otra*.
- De los alumnos que responden las dos versiones de la prueba, uno contesta correctamente los cuatro ejemplos y los justifica todos con m2, en las dos ocasiones. Otros dos, que en la primera oportunidad no responden o lo hacen incorrectamente y sin justificar, a todos los ítems, en la segunda, contestan correctamente, justificando con m3, excepto en el ejemplo a. Hay un alumno que no responde en ninguna de las dos oportunidades.

Hasta aquí puede inferirse que los alumnos que responden este ítem parecen activar un modelo microscópico, en términos de moléculas que cambian, para interpretar si ha ocurrido una reacción química y coinciden con aquellos que utilizaron el modelo para elaborar sus interpretaciones en las situaciones planteadas en el primer ítem de la prueba. Sin embargo, un grupo importante de estudiantes, que no responden este ítem, no estarían familiarizados con las representaciones moleculares presentadas.

Analizando los casos de los alumnos que no responden ninguno de los ejemplos de este ítem, puede verse que la mayoría de ellos, han dado respuestas macroscópicas (adecuadas o no)

cuando contestaron el ítem 1 de la prueba. Esto es, no utilizaron el modelo de materia. De los alumnos que en el ítem 1 dan respuestas microscópicas correctas, la mayoría han justificado adecuadamente, la ocurrencia o no de reacción química, en los ejemplos del ítem 3 de esta prueba.

4.2 Algunas consideraciones didácticas acordadas con el profesor

Previo a la prueba de la propuesta en el aula se trabaja con el docente, a fin de acordar los aspectos centrales del desarrollo que debería tener en cuenta para llevar adelante la instrucción. Esta instancia implica una preparación explícita por parte del profesor que se aboca a conocer las principales características de la propuesta para llegar a apropiarse de ella. Si bien el docente que ha de desarrollar la propuesta diseñada, es integrante del grupo de investigación en el cual se enmarca este trabajo de tesis, es la primera vez que, como docente, ha de trabajar de la forma que propone la AcAb Equilibrio Químico, con el grupo de ingresantes a la universidad. Otros aspectos relevantes a la hora de implementar la propuesta diseñada son el tiempo de que se dispone para el desarrollo y el número de alumnos que integran el grupo de trabajo. Los alumnos inscritos en la Asignatura Química Biológica son alrededor de 130. De ellos, asisten a clase, según la información que los responsables de la asignatura han proporcionado, entre 80 y 90 estudiantes. Se trata de un número elevado de estudiantes con los que se dispone sólo de dos clases teóricas de tres horas cada una, durante las cuales habrá de desarrollarse la intervención diseñada. Además han trabajado, durante su permanencia en la universidad (Curso de Introducción a las Ciencias Básicas), en clases expositivas y de resolución de ejercicios. Toda esta información ha sido ya presentada en el Apartado 3.1: *La muestra*.

Los acuerdos entre docente e investigador incluyeron cuestiones tales como:

1) Trabajar sobre la descripción de los sistemas en equilibrio en los niveles macro y microscópico. Utilizar el modelo cinético molecular para interpretar la naturaleza dinámica del sistema. Tener en cuenta que las principales características del modelo corpuscular de la materia que se pretenden compartir en el aula son:

- La materia está constituida por moléculas, átomos e iones (en general, partículas) que poseen una energía de movimiento que les es propia y que está asociada a las interacciones entre las partículas elementales constitutivas. Hay una relación directa

entre la temperatura de un sistema material y la energía cinética media de sus partículas. Es necesario aclarar aquí que el término partículas puede resultar confuso dado que, la ciencia contemporánea, lo utiliza para designar partículas subatómicas. No obstante, la bibliografía sobre investigación en enseñanza existente con relación a este tema, lo utiliza habitualmente para referirse a moléculas, átomos o iones según corresponda. En este trabajo aparece cuando es necesario referirse a átomos, moléculas o iones, de una manera genérica. En los ejemplos específicos se habla de moléculas, átomos o iones según corresponda.

- Hay una atracción mutua entre esas partículas, cuya magnitud decrece mucho con la distancia. En un gas (a temperatura y presión habituales), la atracción es despreciable.
- En consecuencia, en los gases las partículas se mueven libremente mientras que en los líquidos y sólidos, no; en consecuencia, están mucho más juntas.
- Diferentes sustancias están formadas por diferentes partículas, pero todas las partículas de una sustancia son mutuamente idénticas.
- Una reacción química implica una reorganización de átomos.

Estas premisas forman parte de las ideas acerca de la naturaleza corpuscular de la materia, que son consideradas aceptables en el campo de la enseñanza de las ciencias, a partir del consenso que poseen en esa comunidad (de Vos y Verdonk, 1996).

2) Tener en cuenta que las principales dificultades de aprendizaje que se habrán de enfrentar en el desarrollo de esta propuesta son:

- Es altamente probable que el alumno identifique las cantidades de cada una de las sustancias presentes en el equilibrio, como determinadas por la estequiometría de reacción. Esta idea, frecuentemente encontrada por los trabajos de investigación que se han ocupado del equilibrio químico y que ya se han analizado al inicio de este trabajo, requiere llevar adelante la instrucción de forma tal que el acento esté puesto en el análisis del comportamiento del sistema que alcanza el equilibrio y no en la ecuación química que representa el sistema en estudio.
- En relación con lo anterior, puede ocurrir que la influencia de la ecuación química haga que los alumnos perciban el sistema en equilibrio como formado por dos compartimentos separados entre los que va y viene, como si cada lado de los

mostrados por la ecuación correspondiese a un recipiente distinto. Insistir en la descripción del sistema desde el punto de vista microscópico y, sobre esa base interpretar las características macroscópicas del sistema en equilibrio, puede ayudar a evitar que aparezca esta idea de compartimentalización.

- Los alumnos parecen confundir cuán rápido va una reacción y en qué extensión se produce. Esto conlleva una especie de aceptación superficial de la igualdad de las velocidades de las reacciones directa e inversa en el equilibrio y la consiguiente interpretación inadecuada de una situación de equilibrio del sistema.
- La diferenciación de los conceptos de masa y concentración implica, como ya se discutió, la interpretación de las diferencias existentes entre dos tipos de variable (extensiva e intensiva) que hasta el momento en que el alumno inicia el estudio del equilibrio químico, no ha resultado necesario distinguir explícitamente.
- No puede dejar de mencionarse una dificultad ampliamente estudiada en un gran número de investigaciones: la que surge en la utilización del Principio de Le Chatelier. Sus implicaciones han sido discutidas con diferentes enfoques y objetivos, pero en ningún caso puede tratarse como si fuese una dificultad independiente de las demás. Aún cuando se pueda achacar gran parte de las dificultades a que los alumnos aplican mecánicamente el Principio, ello está relacionado, al menos en parte, a que no interpretan qué es un sistema que ha alcanzado el equilibrio, posiblemente porque también la enseñanza, en muchos de los casos no apunta a ello.

3) Trabajar en la aplicación de las ideas que se van elaborando sobre sistema en equilibrio dinámico, al análisis de diferentes equilibrios químicos y de su comportamiento, fundamentalmente frente a cambios en la temperatura.

Por otra parte, la adecuación de la propuesta a los conocimientos previos de los alumnos es uno de los dos aspectos que se consideran para la puesta en aula con el grupo de estudiantes con los que se realiza la intervención que forma parte de este trabajo de tesis. Esto requiere conocer, las ideas que poseen los estudiantes del grupo en cuestión, acerca de aquellos conceptos y modelos que se consideran necesarios para el aprendizaje del Equilibrio Químico, como así también tener idea del tipo de actividades de clase con las que se hallan más familiarizados. Sobre la base de los resultados de la prueba analizados en el apartado anterior, se tienen datos

acerca de la situación del grupo de alumnos con respecto a la utilización del modelo cinético molecular en las explicaciones de fenómenos sencillos y sobre algunos aspectos de la concepción de reacción química que poseen. Como ya se discutió, entre esos conceptos, el que podría considerarse que influye en mayor medida en el aprendizaje en este tema es el de reacción química. El concepto de reacción química involucra a su vez las ideas de reversibilidad y ecuación química.

4) Entendiendo que para conseguir que los alumnos construyan una concepción acabada del modelo de materia y su utilización en la interpretación de fenómenos será necesario continuar utilizándolo en todas las ocasiones en que resulte posible, haciendo hincapié continuamente en las principales características del mismo. Se considera que resulta necesario trabajar aquí, previo al inicio de la propuesta propiamente dicha, el uso de dicho modelo, para discutir con los alumnos las diferencias existentes entre la interpretación de sistemas y cambios utilizando el modelo de materia y sus respuestas al ítem 1 de la prueba previa. Esto como una forma de activar las ideas de los alumnos al respecto, antes de iniciar el trabajo con la propuesta. Por tanto se acuerda con el profesor introducir previo al inicio de la propuesta, alguna actividad en la que se trabaje, de manera sencilla, en la elaboración de explicaciones utilizando el modelo microscópico de materia, fundamentalmente el aspecto dinámico de dicho modelo. A su vez, se plantea que se ha de aprovechar cada una de las oportunidades a lo largo del desarrollo de la propuesta, para rever el uso que los alumnos hacen del mismo.

Para el desarrollo de la citada Actividad Introdutoria (a1) el docente elige dos situaciones sencillas: un globo inflado con cualquier gas y la difusión de un colorante en agua, cuya interpretación debe realizarse en términos del modelo.

La primera situación se selecciona porque se trata del ejemplo con el que habitualmente se inicia el estudio de este tema, dado la menor dificultad de aplicación del modelo en el caso de un sistema gaseoso que en otros casos. El segundo sistema corresponde a uno de los incluidos en la prueba previa (Versión B), y se elige porque para su análisis se hace necesario que surjan otros elementos del modelo de partículas que no necesariamente forman parte de las explicaciones en el primer caso.

5) Es importante, que una vez presentado el modelo explicativo del equilibrio dinámico, como dos procesos que ocurren simultáneamente se retomen con los alumnos las ideas de reacción química y de reversibilidad que están utilizando. Una parte de los alumnos del grupo de trabajo han sido capaces de interpretar una reacción química en términos de cambios en la estructura a nivel molecular (aparecen distintas moléculas ó los átomos se unen diferente); pero este tipo de representación no les es familiar a todos ellos. La ecuación química parece proporcionarles información referida casi exclusivamente a lo que se forma o descompone en un determinado proceso. La idea que predomina en este sentido, está muy influenciada por la estequiometría como un aspecto relevante. Permite analizar, en términos macroscópicos, cuánto se forma o descompone de determinada sustancia. En relación con ello, una ecuación de una reacción reversible es interpretada como la representación de dos procesos opuestos que ocurren en diferentes momentos y condiciones; idea que no implica simultaneidad de los procesos de "ida" y "vuelta".

6) Para dar oportunidad a los alumnos de expresar sus ideas y ser conscientes de ellas y de las de sus compañeros, teniendo en cuenta lo numeroso del grupo, se acuerda insistir en: trabajar primero las actividades en pequeño grupo, para favorecer el intercambio entre los alumnos y con el profesor y solicitar especialmente a los alumnos dejar registro de las discusiones realizadas, en las hojas de trabajo. Luego, hacerlo en gran grupo, con la guía del profesor, dando oportunidad a los alumnos para ser conscientes de las diferencias entre su conocimiento y el propuesto por la ciencia.

Con estos acuerdos previos, se inicia el desarrollo de la propuesta en el aula

4.3 Evaluación de la implementación de la propuesta en el aula

En la primera parte de este capítulo se han analizado las principales características de las ideas sobre reacción química que poseen los estudiantes del curso con el que se realiza la Actividad Abierta y qué uso hacen del modelo corpuscular de la materia en sus explicaciones, lo cual ha servido para realizar algunas adaptaciones a la propuesta (Apartado 4.2). En el presente apartado, se describe el seguimiento de la puesta en práctica de la propuesta en el aula,

utilizando dos fuentes bien diferenciadas que permiten mostrar aspectos también distintos: la observación externa de las clases y las hojas de los alumnos.

El sistema de observaciones de clase que se describe en el Apartado 3.2.2, por medio de la grabación en audio y video de las clases y de la observación externa, y el análisis de las hojas de los alumnos, permite reconstruir aproximadamente la secuencia de las clases e identificar características de los roles de profesor y estudiantes (Apartado 4.3.1). Por otra parte, se analiza también el conocimiento conceptual que circuló en ellas, qué proposiciones se pusieron en juego (Apartado 4.3.2), utilizando datos provenientes de las fuentes antes citadas. A partir de lo anterior, surgen las *Principales conclusiones del análisis del desarrollo en aula de la propuesta* (Apartado 4.3.3).

Reconocer lo que realmente pasó en el aula es la base para interpretar lo ocurrido en relación con el aprendizaje de los estudiantes. Este análisis resulta útil para repensar una forma cada vez más acabada de intervención, teniendo en cuenta aquellos puntos en los que los estudiantes encuentran dificultades, como también, los aspectos de la propuesta que resultan adecuados y aquellos que hay que ajustar.

4.3.1. Descripción y análisis del desarrollo de las clases

Como primer paso del análisis se ha elaborado un registro descriptivo de las clases, sobre la base de la observación directa y de las transcripciones, según se comentara en el Apartado 3.2.2. El registro descriptivo aparece en los Cuadros A2.1 a A2.6 del Anexo 2. Se han subdividido las actividades de la propuesta en partes, las cuales corresponden a momentos en el desarrollo que se desean diferenciar. A cada una se le ha asignado un código para facilitar su ubicación, en el desarrollo de la propuesta, según se plantea en el Apartado 2.4.2. Cada parte del registro descriptivo que aparece en la primera columna de los cuadros del Anexo 2, se halla doblemente referenciada mediante el código antes citado (tercera columna) y un número correlativo que indica el orden en el desarrollo de la clase (segunda columna). Este número aparece, de aquí en adelante, en el texto entre paréntesis, cuando se desea hacer referencia a alguna parte de la clase en particular. Se incluyen también en la descripción que se realiza a continuación, datos surgidos del análisis de las hojas de los alumnos, que complementan la

información en los puntos en que se ha considerado pertinente. Fundamentalmente se rescata de estos materiales aquello que parece que a los alumnos les resulta relevante y se obtienen algunos datos adicionales acerca de cómo resultó el trabajo con la metodología propuesta.

A estas alturas, antes de continuar con la descripción del trabajo de análisis propiamente dicho, que apunta a establecer en qué medida la propuesta desarrollada en el aula responde a las directrices con las cuales fue planteada, es necesario recordar los principales aspectos de la *Propuesta didáctica* (Apartado 2.4), como así también las *Consideraciones didácticas para la puesta en aula de la propuesta* (Apartado 4.2). Plantear algunas preguntas que se pretenden responder con los datos obtenidos de las transcripciones de clase y de las hojas de los alumnos, resulta un punto de partida adecuado para desarrollar el análisis en cuestión.

a) ¿En qué medida se sigue en clase la secuencia y las indicaciones metodológicas de la propuesta didáctica? ¿Cuál es el rol del profesor?

- ¿Se puede ver una secuencia global que contempla las instancias siguientes?:

- Trabajo sobre la descripción del sistema evaporación/condensación de agua en equilibrio desde el punto de vista macroscópico y microscópico, utilizando el modelo de materia para introducir la naturaleza dinámica del sistema y justificar la ocurrencia de los dos procesos opuestos y simultáneos, de manera continua.
- Análisis del comportamiento macroscópico de sistemas en equilibrio dinámico, y su interpretación aplicando el modelo de materia, apuntando a que el alumno continúe elaborando un concepto de sistema en equilibrio dinámico.
- Aplicación de las ideas elaboradas, al análisis de diferentes equilibrios químicos.

- ¿El profesor da oportunidad a los alumnos para expresar sus ideas y ser conscientes de ellas y de las de sus compañeros y para discutir en pequeños grupos, de manera que favorezca el intercambio entre ellos y con el profesor y realzar el protagonismo de los estudiantes? ¿Solicita especialmente a los estudiantes anotar el registro de las discusiones en sus hojas de trabajo? ¿Da oportunidad para que los estudiantes sean conscientes de las diferencias entre su conocimiento y el propuesto por la ciencia?

- ¿El profesor tiene en cuenta las principales dificultades que se conoce aparecen en el aprendizaje del Equilibrio Químico? Entre las que pueden citarse:

- Identificación de las cantidades de cada una de las sustancias presentes en el equilibrio, como determinadas por la estequiometría de reacción.
- Percepción del sistema en equilibrio como formado por dos compartimentos
- Confusión entre velocidad y extensión de la reacción
- No diferenciación de los conceptos de masa y concentración

- ¿El docente tiene en cuenta las dificultades y concepciones, propias del grupo en estudio, sobre conceptos y procedimientos involucrados en el aprendizaje (conceptual) del tema? Es importante recordar que en este trabajo interesan particularmente dos aspectos sobre los que se tienen datos de las ideas del grupo con el que se llevó adelante la instrucción: el concepto de reacción química y el uso del modelo de materia.

b) ¿Se utilizó el modelo microscópico de materia? ¿Cómo y en qué medida?

c) ¿Se llevó adelante la instrucción trabajando integrada y equilibradamente con los tres niveles de representación e interpretación (macro, micro y simbólico)?

Durante el análisis que se presenta a continuación, cuando se presentan ejemplos tomados del registro de las clases, se consigna entre paréntesis el número de orden de la intervención y la referencia al cuadro del Anexo 2 en el que se encuentra. Por ejemplo: (7 - Cuadro A2.2). Si se trata de una expresión tomada de una hoja de alumno, aparece, por ejemplo, (N° 14), para indicar que se ha extraído de la citada hoja. Cuando se consigna sólo un número entre paréntesis, se está haciendo referencia a la cantidad de hojas de alumno en las que aparece un tipo de información determinada.

El docente inicia la intervención con una introducción en la que alerta a los estudiantes sobre la manera en que se ha de llevar adelante la clase y justifica el cambio en la forma de trabajo en clase, en función de la preocupación que tiene, como uno de los responsables de la asignatura, por mejorar el aprendizaje en un tema tan importante y que a la vez ha resultado siempre, desde su experiencia, muy difícil de interpretar por los alumnos.

P: Vamos a trabajar de una manera diferente, sobre un tema que consideramos complejo. El de equilibrio químico es un concepto que siempre nos ha traído muchos problemas. Intentaremos irlo construyendo entre todos. Vamos a trabajar de una manera diferente.

Pretendemos que vayan registrando, anotando, las ideas que ustedes tienen acerca de cada una de las cosas que se vayan planteando en clase

.....
P: Queremos que vayan anotando lo que son sus ideas del tema, y vayan comparando con lo que se introduce en las clases, qué modificaciones se dan a lo que ustedes piensan.

Las hojas van a sernos útiles a nosotros para ir viendo si realmente vamos logrando formar el concepto (1 – Cuadro A2.1)

Propone además, la utilización de las hojas del alumno como material de trabajo que resulta útil no sólo para tener registros propios de lo que se discute en clase, sino también al docente y al investigador, para evaluar la puesta en aula, con esta forma de trabajo. A pesar de ello, una primera revisión de las hojas de alumnos de que se dispone permite ver que estos no han respetado la disposición en columnas de los diferentes tipos de información, lo cual dificulta mucho el análisis para decidir cuáles de las ideas registradas corresponden a aquellas que el alumno posee en uno u otro momento de la instrucción. No obstante, surgen consideraciones interesantes cuando se analizan conjuntamente los datos provenientes de ambas fuentes: observación y hojas de alumnos.

Actividad introductoria (I). Uso del modelo

La primera parte de la clase inicial se dedica a considerar algunos aspectos importantes de la utilización de un modelo microscópico de materia para elaborar explicaciones. Recuérdese que uno de los principales resultados de la prueba de lápiz y papel realizada previamente, muestra la dificultad que tienen los alumnos para explicar utilizando un modelo de materia, situaciones sencillas que se les plantean.

Durante más de media hora, se trabaja en clase analizando en pequeños grupos, primero, y discutiendo luego en gran grupo, las explicaciones para dos situaciones sencillas planteadas por el docente (un globo inflado con cualquier gas y la difusión de un colorante en agua), cuya interpretación debe realizarse en términos del modelo de materia antes mencionado. El docente considera importante plantear a los alumnos lo que significa explicar con un modelo:

P: Ustedes tienen una explicación pero vamos a intentar una explicación diferente de ciertos fenómenos usando un modelo que permita explicar mejor, justificar mejor, por qué

pasa "esto" (Por ejemplo, por qué se disuelve...). El modelo tiene que ver con la justificación. El concepto lo vamos a ir construyendo entre todos. Quiero que me interrumpen, que expresen sus ideas, para ver si va "quedando claro". Empezaremos trabajando en explicaciones utilizando un modelo de materia que nos permita interpretar cómo ocurren ciertos fenómenos sencillos (2 – Cuadro A2.1)

El docente propone el modelo como una herramienta que permite elaborar explicaciones que resultan mejores que las que se dan cotidianamente a "fenómenos sencillos". Esta afirmación, si bien quizá tiene como objetivo que los alumnos se interesen por la nueva alternativa, podría inducir a considerar que el conocimiento científico tiene un status superior que el cotidiano.

La discusión en grupo de dos o tres alumnos, resulta algo desordenada y el docente debe insistir varias veces en qué es lo que se pretende que hagan, esto es, que elaboren una interpretación, utilizando el modelo de materia, de un globo inflado con un gas. Parecería que a los alumnos no les queda clara la consigna de trabajo, probablemente, porque muchos de ellos no están familiarizados con el uso del modelo, pero también, porque la forma de trabajo que siguen habitualmente en clase sólo les requiere escuchar la explicación del profesor e intervenir si lo consideran necesario, para preguntar dudas o hacer algún aporte; en general, sólo si ellos deciden hacerlo.

Con la guía del docente se realiza la puesta en común de lo que los alumnos han discutido previamente y se llega a las principales características de las explicaciones que han estado elaborando, haciendo hincapié en los aspectos del modelo de materia que el docente considera más relevantes, tales como el movimiento intrínseco de las partículas, la relación entre energía y temperatura y los choques elásticos.

P: (Retomando el trabajo en el grupo grande, para una puesta en común). Es bueno que hayan surgido tantas preguntas. Muchas veces nosotros iniciamos los temas presuponiendo que en el secundario los han trabajado, que lo comprenden..... (risas de los alumnos). Hay distintas explicaciones, diferentes ideas,

P: De tantas preguntas y discusiones surgidas podemos ver que entre ustedes existen distintas formas de interpretar los mismos conceptos. Es muy importante que hayan surgido tantas preguntas. Surgió por ejemplo, la relación entre energía cinética y temperatura, en

otros grupos se discutió la idea de los choques de las partículas con las paredes del recipiente como presión... (4 – Cuadro A2.1)

Mientras los alumnos discuten en pequeño grupo, el docente ha registrado las diferentes ideas que fueron surgiendo, para trabajar con ellas al momento de la puesta en común; instancia en la que, algunos alumnos intervienen, pero lo hacen de manera desordenada y no es posible rescatar sus ideas, a partir de la observación. Se recurre a sus hojas de trabajo de los alumnos, de cuyo análisis surge:

- En varias de las hojas aparecen expresiones tales como: *El gas ejerce presión sobre las paredes, para que el globo se infle* (N° 38), *Las presiones tienden a equilibrarse* (N° 40); *Existe equilibrio entre la presión del globo y la del gas* (N° 28 y 44), o algunas expresiones similares que se refieren a explicar en términos de equilibrios de presiones que el globo se mantenga inflado. Las anteriores se consideran elaboraciones realizadas por los estudiantes durante la discusión en pequeños grupos; esto es, en la instancia previa a la puesta en común guiada por el docente, dado que este tipo de interpretación no estuvo incluida en la intervención posterior del profesor.
- En otro grupo importante de hojas de alumnos aparecen explicaciones que involucran elementos del modelo de materia que van desde aquellas que sólo mencionan que el gas está formado por partículas, hasta las que han registrado todo lo discutido en la puesta en común.

Durante la puesta en común, se han expresado muchas de las ideas antes descritas, las cuales, como se dijo, no forman parte del registro descriptivo por lo desordenado de las intervenciones, pero, cuando el docente retoma el trabajo en gran grupo, para continuar con el desarrollo de la clase, tiene en cuenta sólo las ideas que van en el mismo sentido de lo que se pretende desarrollar; esto es, a explicar usando el modelo microscópico de materia. En relación con ello, se advierte que la mayoría de quienes interpretaron en términos de equilibrio de presiones, no escriben en sus hojas lo nuevo que el profesor plantea. Esta situación debería haber sido revisada en ese momento pero no se percibió como una dificultad. Dichos alumnos, si bien hacen explícitas sus ideas, no reconocen la explicación que se intenta compartir, como diferente y útil, y en tal sentido, no ven la importancia de analizar el conocimiento nuevo, en relación con el anterior. Es interesante resaltar que en las cinco hojas de alumnos en las que se da lo

comentado antes, la interpretación de la otra situación planteada a continuación (colorante) se hace sin tener en cuenta el modelo de materia.

Entre las explicaciones en las que aparecen elementos del modelo de materia, se rescatan las que son del tipo: *Las partículas de gas ejercen presión sobre las paredes del globo* (N° 12) y *Las moléculas tienden a separarse y ejercen presión sobre el globo* (N° 30), que sólo incorporan la idea de las partículas, formando el gas, pero sin que ello signifique que las consideren parte de un modelo que pueden utilizar para explicar la situación en cuestión.

También aparecen interpretaciones que mencionan que las partículas chocan con las paredes del globo y eso lo mantiene inflado, en cuatro de las hojas analizadas. Las explicaciones que se han considerado más completas, se rescatan en ocho hojas, y son del tipo: *Las partículas están en continuo movimiento chocando contra las paredes...* (N° 37), que podría considerarse que están mostrando una adecuada comprensión y utilización del modelo de materia, ya que además, en dichas hojas, cuando se analiza la explicación que han registrado para la situación que se plantea a continuación (la difusión de un colorante en agua), todas las interpretaciones incluyen el movimiento intrínseco de las moléculas como un componente central.

Una vez finalizado el análisis del globo inflado con un gas, el docente propone discutir sobre la difusión de un colorante en agua. Durante las discusiones en pequeño grupo, se observan más dificultades para explicar que en el caso anterior. Las explicaciones se centran en ideas tales como el colorante es soluble, o sucede difusión, sin intentar hacer una interpretación a nivel microscópico. En las hojas aparecen algunas explicaciones que pueden considerarse registro de estas discusiones, sin que se incorpore en ellas, una vez más, lo que el docente intenta proponer después, durante la discusión en gran grupo. Cuando el docente retoma el trabajo para la puesta en común, recupera las ideas surgidas pero desvía la discusión hacia otros ejemplos y se introduce demasiado rápidamente en el análisis de la situación planteada a continuación en la hoja del alumno, sin realizar un cierre de lo anterior. Esto es, para ampliar la discusión, el docente retoma uno de los ejemplos usados en la prueba de lápiz y papel: la difusión del perfume en el aire, sin profundizar en la explicación correspondiente e inmediatamente después, comienza a trabajar con el sistema de evaporación de agua (primera actividad de la propuesta didáctica). Por esta razón es que se ha considerado que los registros presentes en la hoja del

alumno, en relación con esta situación, son los elaborados mientras trabajan en grupo de dos, previo a la explicación del docente. Hay registros diversos. Algunos donde no aparecen elementos de una explicación utilizando el modelo de materia:

El colorante se disuelve en agua (N° 26)

El agua se colorea porque el colorante es soluble en ella (N° 25)

En otras hojas en las que sí se habla en términos microscópicos:

El agua se colorea porque el colorante ocupa los espacios entre las moléculas de H₂O (N° 6)

Las moléculas de colorante van metiéndose en los lugares que dejan las moléculas de agua (N° 11)

Las partículas de colorante se dispersan entre las partículas de agua (N° 17)

En algunas hojas aparecen explicaciones que involucran referencias a la estructura que debería tener el colorante para resultar soluble en agua. Además, en varias de ellas se hace alguna mención al movimiento de las partículas, aunque con indicios de trabajar con un modelo microscópico que podría considerarse muy influenciado por lo macroscópico. Por ejemplo, en la respuesta que aparece a continuación, cuando los alumnos se refieren al agua, lo hacen en términos de partículas, no así cuando hablan del colorante. *El colorante se mezcla con el agua debido a que las moléculas de agua se están moviendo continuamente y el colorante se aferra al agua y esta lo dispersa por toda la superficie (N° 12)*. Del mismo tipo son las respuestas que se transcriben a continuación, en las que parece que sólo las partículas de agua están en continuo movimiento.

Las partículas de agua al estar en continuo movimiento hacen que el colorante se expanda rápidamente (N° 20, N° 32)

El colorante se ubica entre las moléculas de agua y se dispersa de un lugar de mayor concentración a uno de menor concentración por movimiento de las moléculas (N° 22).

Aparecen también registros de interpretaciones microscópicas alternativas, tales como: *Las moléculas de agua se colorean, Las moléculas de agua se unen a las de colorante, produciendo una tonalidad intermedia entre el transparente y el color del colorante.*

Como puede observarse, hay una importante diversidad de interpretaciones de la difusión del colorante en agua, que van desde concebir la aparición del color en el agua como resultado de

que las moléculas se tiñen, hasta la descripción de cómo las moléculas de agua y las de colorante se mueven y van mezclándose hasta que se forma un sistema homogéneo.

Hasta aquí se trabaja en clase analizando primero en pequeños grupos, y discutiendo luego en gran grupo, las explicaciones para dos situaciones sencillas planteadas por el docente. Esto permite que los alumnos expresen sus ideas y las analicen en relación con las de sus compañeros. Pero parecería que no todos llegan a ser conscientes de las diferencias entre su conocimiento y el propuesto por el profesor. El uso de las hojas de alumno, en esta parte de la intervención, quizá no ha sido el más adecuado en relación con los dos objetivos: servir como registro al alumno y servir también al investigador, ya que parece que muchos no registran en sus hojas la discusión en gran grupo y se quedan con su primer interpretación de lo que ocurre. ¿Será porque consideran que la interpretación con el modelo no les aporta algo relevante frente a lo que ellos piensan?

Entre las explicaciones en las que aparecen elementos del modelo microscópico de la materia: hay algunas que resultan alternativas, otras que sólo hablan en términos de partículas y las que se consideran más completas, incluyen el movimiento intrínseco de las moléculas como un componente central. La interpretación de la difusión presenta más dificultades que la del globo inflado, lo cual tienen relación con que la aceptación de la discontinuidad y de las moléculas moviéndose, resulta más simple en los gases que en los líquidos. Puede apreciarse una idea alternativa relacionada a que las partículas que se mueven son las de agua. Este tipo de respuesta aparece en otros trabajos que analizan el uso del modelo de materia que hacen los alumnos de diferentes edades y había sido registrada ya en la prueba previa.

Finalizada esta primera etapa introductoria, se inicia lo que podría considerarse el desarrollo de la propuesta propiamente dicha.

Actividades 1 y 2. Agua en un sistema abierto (a1) y en un sistema cerrado

Las dos situaciones involucradas en las Actividades 1 y 2, aparecen esquematizadas en la hoja del alumno y se muestran más abajo, en la Figura 4.1. El docente propone en primer lugar, interpretar la evaporación del agua en un recipiente abierto, a temperatura ambiente, utilizando el

modelo cinético molecular (a1) y, a continuación, hacer lo propio con la evaporación de agua, a temperatura ambiente, en un recipiente cerrado (a2).

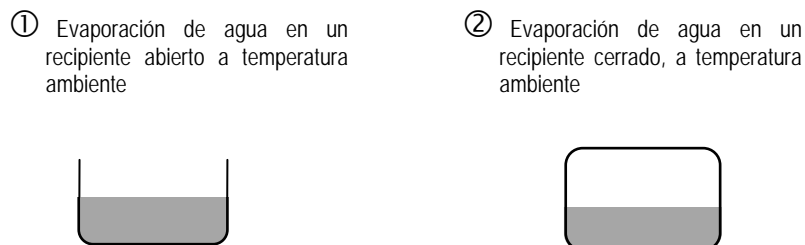


Figura 4.1. Representaciones de las actividades N° 1 y 2, como aparecen en la HA

La consigna es describir macroscópicamente lo que ocurriría en uno y otro sistema e interpretarlo con la utilización del modelo. En primer lugar, se trabaja en los grupos, sobre el sistema abierto (a1). Usando el modelo cinético molecular se elaboran interpretaciones microscópicas de la evaporación trabajando alrededor de la idea: *Las moléculas que se ubican en la superficie tienen uniones intermoleculares que se rompen más fácilmente, entonces son las que pasan al estado gaseoso*. Surge, en algunos grupos, asociada a la interpretación con el modelo de materia, la idea de que la evaporación ocurre a cualquier temperatura, aspecto que suele resultar difícil de interpretar por los alumnos. Posteriormente, en la puesta en común, el docente retoma estas cuestiones, planteando a todo el grupo de alumnos la interpretación de lo que sucede con la energía del sistema mientras el agua se va evaporando. Relaciona lo anterior con el efecto refrigerante de la evaporación de un líquido sobre una superficie. Estas últimas consideraciones, correspondientes al momento de la puesta en común, aparecen sólo en dos de las hojas. En las restantes se ha registrado exclusivamente la interpretación de la evaporación, sin otros elementos que pudiesen corresponder a la nueva información que el docente aporta después. Explicaciones que hacen referencia tanto al movimiento molecular como a la mayor posibilidad de las moléculas superficiales para vencer la atracción de las demás, como dos elementos clave, se encuentran registradas en doce hojas de alumno; mientras que en otras siete, sólo se hace referencia al último aspecto; esto es, a la menor cohesión a que se hallan sometidas las moléculas superficiales, lo cual les permite escapar más fácilmente de la fase líquida. Los registros hallados en las demás hojas analizadas son interpretaciones que incluyen ideas alternativas, fundamentalmente en relación con el modelo de materia.

Cuando el trabajo se centra en el sistema cerrado (a2) se puede apreciar la dificultad que tienen los alumnos mientras discuten, para utilizar el modelo en sus explicaciones. Continuamente hacen referencia a lo observable. Algunos insisten, aún ya avanzado el análisis de este sistema, en que en la zona de las paredes, en zonas más frías, donde hay mayor pérdida de energía, hay condensación; esto es, lo que ocurre se ve mejor en las partes frías del vidrio. Esta idea resulta bastante frecuente en las discusiones de los grupos, y se ve reflejada en 21 de las hojas analizadas. Un ejemplo de explicación del comportamiento del sistema cerrado como un sistema en el que la evaporación y la condensación ocurren una a continuación de la otra ("ciclo") puede verse en la Figura 4.2.

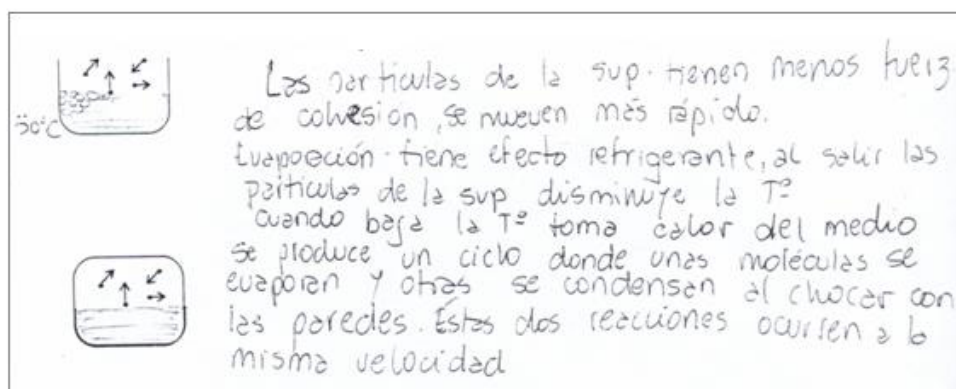


Figura 4.2. Ejemplo tomado de la hoja de alumno N° 1

Durante la puesta en común, el docente, refiriéndose al sistema cerrado, a temperatura constante, insiste en la naturaleza dinámica del sistema en equilibrio y lo hace vinculado a la utilización del modelo cinético molecular para su descripción, dado que, como se mencionó antes, es uno de los acuerdos previos, relacionados con la filosofía de la propuesta.

P: Si aceptamos el modelo cinético, no podemos pensar que quedó estático, sino que simultáneamente se están produciendo evaporación y condensación. Un grupo dijo por aquí que ocurren simultáneamente a la misma velocidad. Esto es fundamental para poder entender que hay reacciones... Esta sería la explicación microscópica de cómo ocurre (9 - Cuadro A2.3).

La intención de la primera parte de la Actividad 2 (a2-1) es conseguir que los alumnos lleguen, a partir de la aplicación del modelo, a aceptar que los dos procesos (evaporación y condensación), están ocurriendo de forma simultánea, en la superficie del líquido. Por lo que puede apreciarse a

partir de las hojas, son muy pocos los alumnos que registran este aspecto, el cual aparece sólo en once hojas de alumnos de las 40 totales.

Durante la discusión en gran grupo, algunos alumnos insisten en que la evaporación y la condensación ocurren en las partes frías del vidrio –lo cual hace suponer que están pensando el equilibrio en términos de un ciclo- y otros plantean que ambos procesos deben ocurrir a la misma velocidad. Esto último es aprovechado por el docente para introducir otra de las características del sistema en equilibrio: los dos procesos opuestos, ocurren a la misma velocidad. La Figura 4.3 muestra lo registrado en una de las hojas, en la que los alumnos han elaborado una interpretación de la evaporación – condensación, en términos de modelo, que si bien resulta inacabada y puede considerarse con algunos elementos de un modelo alternativo, cuando habla de que una partícula *se evapora* ó *se condensa*, mostraría que estos alumnos estarían empezando a elaborar una interpretación del equilibrio en el sistema, desde el punto de vista del modelo microscópico, en términos de dos procesos opuestos ocurriendo simultáneamente y a igual velocidad.

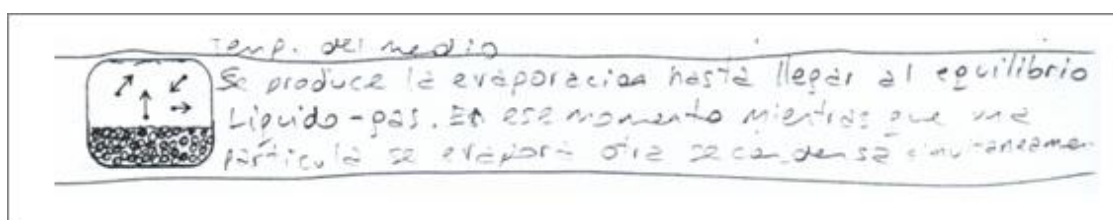


Figura 4.3. Registro de una interpretación acerca de lo que se está discutiendo, tomado de la HA N°37

Una vez más parecería que quedan muchas de las ideas de los alumnos sin ser consideradas en la discusión en gran grupo. El docente parece tener en cuenta sólo aquellas que aportan algo a la discusión, en el sentido en que él se ha propuesto trabajarlas.

A estas alturas de la intervención (10 - Cuadro A2.3) y luego de aclarar lo que se entiende por sistema cerrado, en términos de masa constante y de diferenciarlo de sistema aislado; el docente propone representar el sistema por medio de la ecuación: $\text{H}_2\text{O (l)} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O (g)}$. Hace a continuación la relación entre esta representación y algunos elementos de la explicación microscópica y se refiere muy rápidamente a la interpretación de la ecuación, señalando especialmente que la estequiometría allí expresada, no indica las cantidades de sustancia presentes en el sistema en equilibrio. La introducción de la ecuación a esta altura podría resultar

demasiado prematura, ya que si bien es importante trabajar integradamente los tres niveles de representación, quizá la introducción anticipada de la ecuación química, más aún, tratándose de un sistema en el cual la representación mediante la ecuación puede no resultar significativa, podría estar condicionando la elaboración de la idea de sistema en equilibrio dinámico que se pretende desarrollar.

El docente plantea a continuación el concepto de presión de vapor y propone analizar lo que ocurre si se tienen, a temperatura ambiente, dos recipientes cerrados, con distinta masa de agua líquida inicial (11 - Cuadro A2.3). Los alumnos discuten muy brevemente, pero el docente retoma la clase y sin hacer referencia a las discusiones en pequeño grupo, concluye que la masa de agua líquida inicial no afecta a la presión de vapor. Luego plantea analizar la situación para dos sistemas a temperaturas diferentes y procede de igual forma que antes. Todo esto para llegar a concluir que la presión de vapor depende de la temperatura del sistema y es independiente de la masa de agua presente en él. Aquí no se utiliza el modelo para justificar el aumento de la presión de vapor con la temperatura. La propuesta plantea la posibilidad de trabajar con tablas de datos de presión del sistema, pero el docente elige esta alternativa porque no dispone del tiempo suficiente para desarrollar la actividad tal cual estaba pensada.

Esta parte corresponde a los últimos minutos de la primera clase, durante los cuales el docente, quizá en su afán de completar la idea que se pretende introducir acerca de sistema en equilibrio dinámico, desarrolla la clase en gran grupo atendiendo sólo a lo que responden a sus preguntas una pequeña porción de los alumnos. Finaliza la primera clase con un "resumen", de las principales características del sistema en equilibrio dinámico antes analizado.

Hay muy pocas hojas en las que se encuentren registros de estas últimas intervenciones del docente. Esta parte de la clase se desarrolla muy rápidamente y es el propio docente el que lleva adelante la intervención sin tener demasiado en cuenta lo que los alumnos van elaborando o cuáles son sus ideas al respecto.

En general, analizando las hojas del alumno correspondientes a esta primera clase, se encuentra que la mayoría han registrado sus ideas acerca del comportamiento de los sistemas abierto y cerrado haciendo uso del modelo molecular (aparece en 30 de las 40 hojas del alumno). En

aproximadamente la mitad de ellas, pueden detectarse ideas alternativas a la científica, en relación con el modelo, sin que se hallen registros de otros elementos de la discusión, fundamentalmente aquellos que corresponden al trabajo en gran grupo en la última parte de la primera clase.

La segunda clase comienza retomando nuevamente el sistema de evaporación de agua en un recipiente cerrado. El docente guía la discusión, en gran grupo. Lo hace a partir de la representación en el pizarrón, mediante el modelo microscópico y utilizando la ecuación correspondiente, del recipiente cerrado en el cual están ocurriendo evaporación y condensación simultáneas y a igual velocidad. Propone analizar la diferencia entre \longleftrightarrow y \rightleftharpoons .

P: *Vamos a ir recordando lo que estuvimos analizando la clase anterior. Habíamos caracterizado el equilibrio dinámico...*

(El profesor dibuja un recipiente cerrado conteniendo agua líquida)

Escribe: $H_2O(l) \longleftrightarrow H_2O(g)$ y $H_2O(l) \rightleftharpoons H_2O(g)$

P: *¿Qué significaba esta doble flecha (refiriéndose a \longleftrightarrow , que es distinta a una doble flecha \rightleftharpoons)*

P: *¿Esta otra qué me indica?*

VA: *Que está en equilibrio.....*

P: *..... ¿Qué significaba que están en equilibrio?*

VA: *Que simultáneamente se estaban produciendo la evaporación y la condensación.*

P y VA: *Bien,...simultáneamente están produciéndose,... coexisten, que las velocidades.....y.....*

P: *¿Qué pasaba con las cantidades? (mientras escribe en el pizarrón las principales ideas que van surgiendo) (13 - Cuadro A2.4)*

El docente insiste en representar el proceso que está ocurriendo mediante la ecuación y en que esta no da información sobre "cantidades" de agua (l) y agua (g) presentes en el sistema. Hasta aquí se extiende una breve reseña de lo trabajado en la clase anterior (13 a 16 – Cuadro A2.4). En toda esta parte de la clase, el docente trabaja en gran grupo, con poca participación de los alumnos en la elaboración y reelaboración de las nuevas ideas.

A continuación, el profesor retoma el trabajo sobre la idea de presión de vapor y su relación con la temperatura del sistema (14 –Cuadro A2.4). Desarrolla la idea de que lo que varía con la temperatura es la concentración en la fase gaseosa. Dice que si aumenta la temperatura se tiene otra presión de vapor, *otro estado del sistema*. Esta idea es fundamental para completar el significado de sistema en equilibrio dinámico que se pretende desarrollar.

Sigue, trabajando sobre la representación del recipiente, analizando ahora, qué ocurriría si, a temperatura constante, se aumenta la masa de agua líquida inicial:

P: *Si la temperatura se mantiene constante y aumento la cantidad de agua líquida en el recipiente, ¿qué ocurre con la presión de vapor?*

VA:

P: *Nada... la cantidad de agua líquida no influye en la pv.*

P: *Esto es muy importante, fíjense que si aumento la cantidad de agua la pv no varía.*

(15 – Cuadro A2.4)

Señalando sobre la ecuación que representa el sistema, se ocupa de mostrar que esa representación no da información acerca de las cantidades de sustancia presente en ambas fases. Este dato quizá aquí pueda no resultar demasiado relevante para los alumnos. Esta rápida mención a que la masa de agua líquida no influye en el comportamiento del sistema, debería retomarse más adelante, cuando se discute, en la Actividad 4, la influencia del sólido puro en el sistema correspondiente.

Continuando con su exposición, analiza el comportamiento del sistema ante cambios de temperatura. Primero se refiere al cambio en el número de moles de agua gaseosa, que, contenidos en un mismo volumen, resultan en sendas presiones de vapor, diferentes a cada temperatura. Pero a continuación, valiéndose de la ecuación: $\text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} (\text{g})$, razona en términos de desplazamiento, de una manera que parece ser la que habitualmente utiliza para este tipo de situaciones, sin incorporar, como se propone en la secuencia de trabajo (Apartado 2.4), la utilización del modelo de materia. Nótese que al inicio del desarrollo de la idea parece que va a introducir el modelo en la explicación (... *si yo estoy entregando energía, aumenta el movimiento...*), pero luego continúa razonando en términos de desplazamiento como “reacción del sistema en contra de la perturbación”... Además, cuando señala sobre la ecuación para referirse

al efecto que produce una mayor energía, parece que se refiere a que sólo aumenta la energía en una parte del sistema.

P: ... *Ahora analicemos acá* (señalando la ecuación), *si yo estoy entregando energía, aumenta el movimiento, estoy incorporando, en esta ecuación* (señala el lado izquierdo en la ecuación) *energía... Eso hace que se desplace entonces hacia la derecha, que aumente la cantidad de agua gaseosa. Tengo otra pv, constante para esta temperatura. En este caso, como es una reacción endotérmica, el aumento de la temperatura hace que se desplace el equilibrio hacia acá* (señala en la ecuación el lado derecho) (17 - Cuadro A2.4)

Aquí el docente además no debería haberse referido a los dos lados de la ecuación para analizar el desplazamiento del equilibrio. Ello puede provocar que los alumnos vean al sistema como dos compartimentos separados. El trabajo aquí debería haberse hecho sobre la representación molecular del sistema y no sobre la ecuación.

Todavía a esta altura de la intervención, el principal objetivo sigue siendo lograr una conceptualización más acabada de lo que se entiende por sistema en equilibrio.

A continuación, el docente propone que los alumnos, en grupos de dos o tres, discutan lo que ocurriría si, en el sistema en cuestión, a temperatura constante, se disminuye considerablemente el volumen ocupado por la fase gaseosa (18 – Cuadro A2.4). El docente recorre los grupos mientras los alumnos discuten, para registrar las ideas que surgen, dado que, por el elevado número de alumnos de la clase y el escaso tiempo disponible, no le resulta posible permitir que todos expresen sus ideas en la puesta en común. Luego de unos minutos recoge lo discutido y retomando la clase guía la discusión para tratar de explicar, en términos del modelo cómo se comporta el sistema ante esta perturbación, hasta retornar al equilibrio:

P: *Bien, en los grupos han surgido diferentes respuestas e inquietudes.*

P: *Recordemos lo fundamental que hemos visto: a determinada temperatura tenemos una pv, esto es un número de moles determinado en determinado volumen. Si cambia la T, cambia la Pv* (escribe: $T\ p_v = f_c(n/v)$).

P: *Se nos proponía reducir el volumen, varios grupos dijeron que aumenta la presión, aumenta el número de choques al haber menos espacio, chocan más frecuentemente con las paredes y con la superficie del líquido ¿qué es lo que va a producir? Al tener menos espaci ...*

VA: ... *más condensación.*

P: *Más condensación. Este equilibrio lo perturbé. Se produce más condensación. Muchas moléculas serán atrapadas por el líquido, por lo que disminuirá la masa de agua gaseosa pero n/V de agua en la fase gaseosa se mantendrá constante ya que no cambia la temperatura, entonces la p_v no cambia. (Escribe en el pizarrón $n_1/V_1 = n_2/V_2, \dots$). Sólo la temperatura me hace cambiar la p_v (19 – Cuadro A2.4).*

El docente redondea la idea de que el sistema en equilibrio dinámico puede restablecer ciertas condiciones ante una perturbación, pero lo hace demasiado ligeramente y sin recordar qué implica, en términos cinéticos, que se restablece el equilibrio:

Es importante que noten que el cociente n/V sigue siendo el mismo. Esto es fundamental. El sistema en equilibrio tiene la posibilidad de reaccionar ante una perturbación, para retornar al estado anterior, a determinada temperatura. (Lo repite, escribiendo en el pizarrón). Una perturbación, hay un momento de cambios, donde aumenta la velocidad de condensación con respecto a la otra. Cuando se restablece el equilibrio vuelvo a tener las condiciones iniciales (19– Cuadro A2.4).

Quizá este hubiese sido además un buen momento para introducir más claramente la diferenciación entre velocidad y extensión de la reacción que se sabe es una de las principales dificultades que surgen cuando el alumno debe analizar el desplazamiento de un equilibrio. En el razonamiento:

$\Delta V \downarrow \Rightarrow$ hay más choques \Rightarrow más condensación $\Rightarrow \Delta n_{\text{gas}} \downarrow$, pero con $\frac{n}{V}$ cte,

se usa el modelo para imaginar el comportamiento del sistema si se reduce el volumen ocupado por la fase gaseosa y justificar así, la mayor condensación (nótese que no se menciona aquí la ocurrencia simultánea de la evaporación). Hubiese resultado interesante discutir qué significa más condensación en términos de desplazamiento del equilibrio, haciendo explícito a qué se refiere el docente con ello y aprovecharlo también, para diferenciar entre masa y concentración; una de las mayores dificultades que se conoce existe en el aprendizaje del equilibrio químico.

En aproximadamente la mitad de las hojas (19) se registraron las ideas de los alumnos y las surgidas de la puesta en común, pero en muchos casos no queda demasiado claro cuáles son unas y otras. No utilizan, en general, las tres columnas con el objetivo con que han sido pensadas. La mayoría de ellos expresan claramente que la perturbación es “compensada” por el sistema en equilibrio dinámico, mediante un aumento en la “condensación”. Esto parece resultar lo más relevante para los alumnos. En varias de las hojas los registros que aparecen corresponden a descripciones de lo que ocurre con el sistema en el momento en que se reduce el volumen ocupado por la fase gaseosa; por ejemplo: cuando se reduce el volumen habrá más presión de gas y por lo tanto, mayor condensación. Parecería que estos alumnos han registrado sus ideas surgidas en la discusión en pequeño grupo, pero no han incorporado luego otros elementos que surgieron en la puesta en común, referidos a la recuperación del equilibrio por parte del sistema. En la Figura 4.4 se muestra un intento de explicar el aumento de condensación por un aumento en el número de los choques de las moléculas que forman la fase gaseosa con las paredes del recipiente y la superficie del líquido, que no se completa con el registro de lo discutido a continuación, acerca de que cuando el sistema vuelve al equilibrio, n/V tiene el mismo valor que antes.

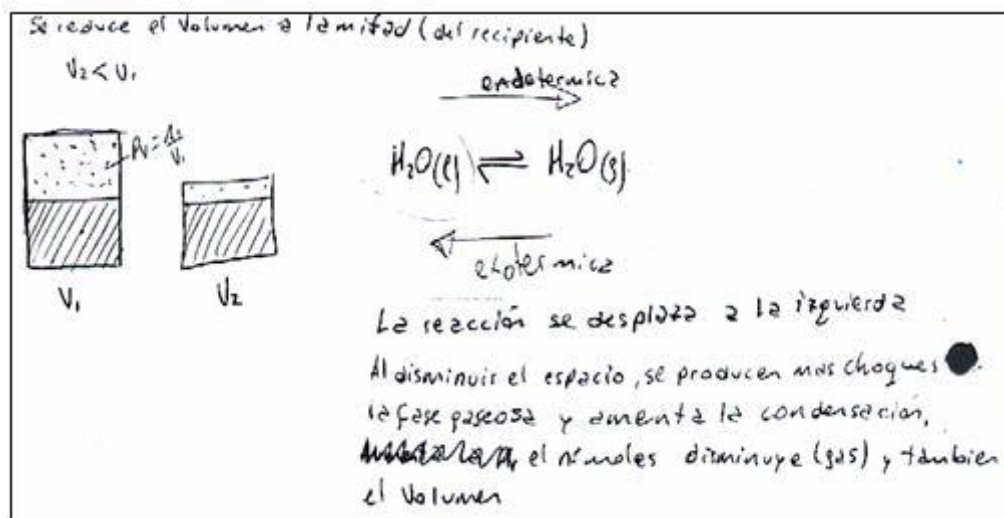


Figura 4.4. Registro tomado de la hoja de alumno N° 37

En otro grupo importante de hojas se encuentran registros más detallados, en los que se incorpora una descripción utilizando el modelo de materia, del sistema que recupera el estado de equilibrio (Figura 4.5), pero que, como en ocasiones anteriores, parece corresponder a la discusión en pequeños grupos, sin incorporar elementos de la puesta en común.

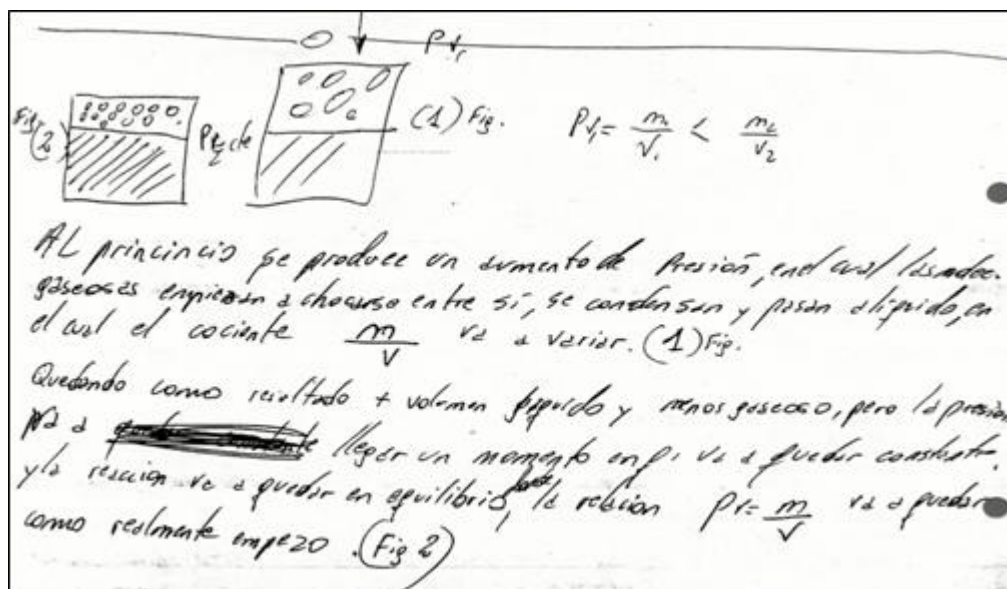


Figura 4.5. Registro tomado de la hoja de alumno N° 12

El profesor cierra esta parte de la intervención poniendo énfasis en este aspecto de los sistemas en equilibrio, su capacidad de restablecer el estado de equilibrio y hace referencia a continuación a los sistemas buffer de los organismos vivos, relacionándolo con lo dicho antes.

Durante el desarrollo de las Actividades 1 y 2 puede apreciarse que al inicio se trabaja bien recuperando las ideas de los alumnos en relación con la descripción de los dos sistemas de evaporación - condensación (abierto y cerrado) a nivel micro relacionándolo con lo observable y con la representación simbólica. Sin embargo, para el sistema cerrado hay una idea de "ciclo" que resulta muy fuerte en un grupo importante de alumnos que el docente no tiene suficientemente en cuenta durante la puesta en común, lo cual se refleja luego en las hojas de trabajo de los estudiantes. Durante la última parte de la primera clase y el inicio de la segunda, el docente modifica la manera de trabajo en el aula, desarrollando la tarea sólo en gran grupo, con escasa participación de los alumnos. Esto quizá haya sido a causa del poco tiempo disponible, lo cual también probablemente hizo que, cuando introdujo el concepto de presión de vapor, pasase

demasiado rápidamente a la discusión de la influencia de los cambios, en especial, de temperatura del sistema, sin profundizar en dicho concepto, como estaba pautado.

El desarrollo de la Actividad 2 se inicia con la descripción e interpretación del sistema, utilizando el modelo de materia, tal cual estaba previsto, pero quizá algo tempranamente se introduce la representación mediante la ecuación. Seguidamente, hacia el final de la primera clase, se discute muy rápidamente la influencia en el sistema de un cambio en la masa de agua líquida presente y después se propone el análisis de lo que ocurriría si varía la temperatura. Se retoma el tema en la segunda clase y una vez más se insiste en utilizar y analizar prematuramente la representación del sistema mediante la correspondiente ecuación química. Ahora sí, la secuencia que se sigue incluye el análisis de la influencia de los cambios de temperatura y luego el análisis del comportamiento del sistema frente a otros cambios, todo esto con el objetivo de continuar desarrollando una conceptualización cada vez más acabada de equilibrio químico.

Hay algunas imprecisiones que resulta necesario marcar. Cuando el docente analiza el comportamiento del sistema frente a la temperatura, lo hace en términos de “desplazamiento del sistema en el sentido de contrarrestar los efectos de la perturbación”, en lugar de ayudarse con el modelo para continuar desarrollando la idea de lo que se entiende por sistema en equilibrio dinámico. Además, hace referencia a los dos lados de la ecuación, lo que podría provocar confusión en el uso del modelo de materia y no contribuir al análisis del sistema en equilibrio dinámico, como un todo.

Cuando se discute en gran grupo, el desplazamiento del sistema hacia una mayor condensación, al disminuir el volumen en el que se halla contenida la masa de vapor, se plantea la interpretación en términos moleculares pero no se cierra completamente la idea. Además, debió haberse aprovechado esta oportunidad para mostrar la diferencia entre extensión y velocidad y para interpretar qué se entiende por “el sistema se desplaza...” y , en relación con esto último, también aprovechar para diferenciar entre masa y concentración. Es importante recordar que todavía a esta altura de la introducción del equilibrio químico, se pretende que el alumno elabore una idea más o menos acabada de lo que es un sistema en equilibrio dinámico.

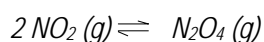
Actividad 3. Sistema en el que ocurre la dimerización del NO₂

Después de un breve descanso en el desarrollo de esta segunda clase, el grupo realiza la Actividad 3, en la cual se pretende aplicar todo lo que se ha venido trabajando hasta aquí acerca de lo que se entiende por sistema en equilibrio dinámico y cómo se comporta, a la vez que se amplía dicha concepción. En la hoja del alumno esta actividad aparece simplemente como:

③ Dimerización del NO₂

Es el docente quien explica que la actividad consiste en analizar el sistema que se genera cuando se produce dióxido de nitrógeno (a partir de cobre y ácido nítrico) y se lo almacena en un recipiente que se cierra rápidamente. Dado que en el estado gaseoso, el NO₂ existe siempre como una mezcla en equilibrio con el N₂O₄, se propone trabajar con el sistema NO₂/N₂O₄ formado por la mezcla de los óxidos mencionados. El docente realiza la demostración al grupo de alumnos y los insta a observar el sistema. A continuación plantea la ecuación que representa el equilibrio que se está analizando y explica lo ocurrido, basándose en que el dióxido de nitrógeno que se obtiene en estado gaseoso y que es de color pardo, se dimeriza dando lugar a la formación del N₂O₄ (gas incoloro), en un proceso exotérmico que alcanza el equilibrio:

P: Todo lo que hemos analizado hasta ahora en este sistema formado por agua (l) en equilibrio con agua (v) lo vamos a aplicar al estudio de otro sistema químico. Vamos a analizar la información que tenemos. Si pongo Cu con HNO₃ se forma un gas, el dióxido de nitrógeno (escribe la fórmula NO₂), que es de color pardo oscuro (hace la experiencia). Lentamente se produce en el sistema una dimerización (termina de escribir la ecuación) ... del NO₂, pardo, a N₂O₄ que es incoloro (20 - Cuadro A2.5).



La nueva coloración del sistema, una vez que ésta no cambia más, le permite postular la coexistencia de ambas especies (NO₂ y N₂O₄) en el recipiente y aplicar el modelo de sistema en equilibrio dinámico, antes elaborado, como interpretación de lo observado.

P: Esto que era oscuro, se aclara, el sistema se aclara un poco porque tengo una mezcla de los dos gases, están coexistiendo, por eso el color... Otro dato: la reacción directa es exotérmica y el sistema de reacción contiene una mezcla de ambos óxidos que coexisten, en equilibrio dinámico... Esto (señalando la doble flecha en la ecuación de dimerización) me

indica que dos moléculas de NO₂ forman una de N₂O₄ y simultáneamente, una molécula de N₂O₄ se descompone para dar dos moléculas de NO₂ (20. Cuadro A2.5)

Nótese que se trabaja la idea de ecuación química como representación de cómo ocurre el cambio, en una forma muy sencilla, y la de reversibilidad de la reacción, asociada a la de equilibrio químico. De toda esta introducción, en 20 hojas de alumno, aparecen sólo referencias a la ecuación química que representa el equilibrio, consignando el estado en que se hallan ambas sustancias intervinientes. En algunas de ellas también se han registrado datos acerca del color de ambos óxidos y en dos casos, el término energético (ϕ) se incluye en el lado derecho de la ecuación. Este último no aparece en la representación que el profesor hace en el pizarrón en esta primera parte de la intervención, pero los alumnos sí lo consignan, probablemente cuando el docente menciona que la dimerización es una reacción exotérmica. Para estos alumnos, la interpretación microscópica parece no resultar relevante.

En otras diez hojas de alumnos se encuentran registros que hacen referencia, además de a la ecuación, con las principales características de las especies químicas involucradas (color y estado), a la interpretación de cómo estarían ocurriendo la dimerización y la descomposición en forma simultánea y a igual velocidad. Otras tres hojas de alumno presentan esta descripción, pero no se ha consignado en ellas la ecuación química correspondiente.

La expresión de la ecuación que representa el proceso aparece en 30 hojas de alumno, a diferencia de lo que ocurría en el agua, donde sólo aparecía en 8 de los casos. Esto puede interpretarse relacionado con la fuerte influencia de la idea de ecuación química sobre la de reacción química, que se podía suponer posee el grupo de alumnos dado que apareció en forma clara en la prueba previa. Hay que resaltar que esta situación parecería mostrar que el trabajo con la ecuación no resulta relevante para los alumnos cuando se trata del sistema H₂O (l)/H₂O (g) pero sí cuando se trata de una reacción química.

A continuación, el profesor solicita a los alumnos que trabajando en grupos de dos, intenten predecir cómo resultará la coloración del sistema a dos temperaturas diferentes, una menor y otra superior a la temperatura ambiente.

Los alumnos discuten en pequeños grupos lo que observarían, pero son muy pocos (12) los que registran elementos relacionados con dichas discusiones. De diez hojas se puede inferir que han razonado teniendo en cuenta que si la reacción de dimerización es exotérmica, entonces esta se favorece al disminuir la temperatura, con lo cual el sistema se aclara porque hay más producción de dímero. Sólo dos de las hojas permiten suponer que se ha pensado en la coloración del sistema en términos de concentraciones de ambas sustancias (Figura 4.6). En las demás aparecen expresiones tales como: *si aumenta la temperatura se forma más NO₂* ó, simplemente, *el sistema tienen más coloración*.

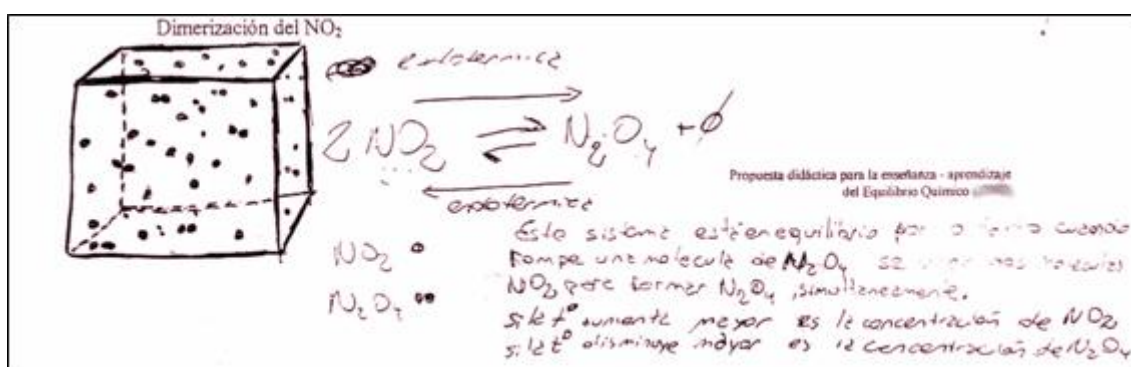


Figura 4.6. Registro tomado de la hoja de alumno N° 32

Una vez acabada la discusión en pequeños grupos, se analizan en gran grupo las observaciones para las tres temperaturas y se interpretan en los mismos términos en que se ha venido trabajando hasta este momento relacionándolo con el ejemplo del sistema H₂O(l)/H₂O(g): se habla de “desplazamiento” del equilibrio, teniendo en cuenta que la dimerización es un proceso exotérmico que se ve afectado al variar la temperatura del sistema y por ello, si aumenta la temperatura, el sistema se desplaza en el sentido que aumenta la producción de NO₂. El docente se refiere al análisis del sistema igual que había hecho antes en el caso del agua: *A alta temperatura, para dónde se desplaza el equilibrio? Agrego energía, el sistema responde para oponerse a ese cambio*. Aquí se debería haber aprovechado para, volviendo al ejemplo del agua, hacer hincapié en la diferenciación entre velocidad y extensión del proceso, analizando lo que ocurre sin perder de vista que siempre están produciéndose las dos reacciones en sentidos opuestos.

En este punto de la intervención también podría haber resultado interesante discutir la relación entre cantidad de sustancia, concentración y color de la mezcla, dado que, como ya se discutió en este mismo trabajo (Apartado 2.4.2: *La secuencia didáctica y el material de trabajo*) este es uno de los aspectos que hacen que este ejemplo resulte complejo de analizar, a pesar de la aparente simplicidad del sistema en cuestión. Esta discusión podría aportar al trabajo de diferenciación del concepto de concentración.

El docente realiza la demostración experimental de las otras dos situaciones que se analizan (sistema a temperatura mayor que la ambiente y a temperatura menor) (22 - Cuadro A2.5) y a continuación solicita a los alumnos que representen, usando el modelo de materia microscópico cada una de las tres situaciones (sistema en equilibrio a tres temperaturas diferentes). Los alumnos dibujan en las hojas para luego comparar sus representaciones con las que realiza, ya durante la puesta en común, uno de ellos en el pizarrón. En un número importante de hojas de alumnos (27) se han registrado las observaciones realizadas en relación con los colores del sistema y realizado anotaciones y dibujos que permiten interpretar dichas observaciones en términos de representaciones con el modelo de materia.

De esas representaciones surge que frecuentemente, no se tiene en cuenta la conservación de los átomos ni la estequiometría del proceso. Un ejemplo puede observarse en la Figura 4.7 en la que puede verse que las tres representaciones muestran cómo cambia el número de moléculas

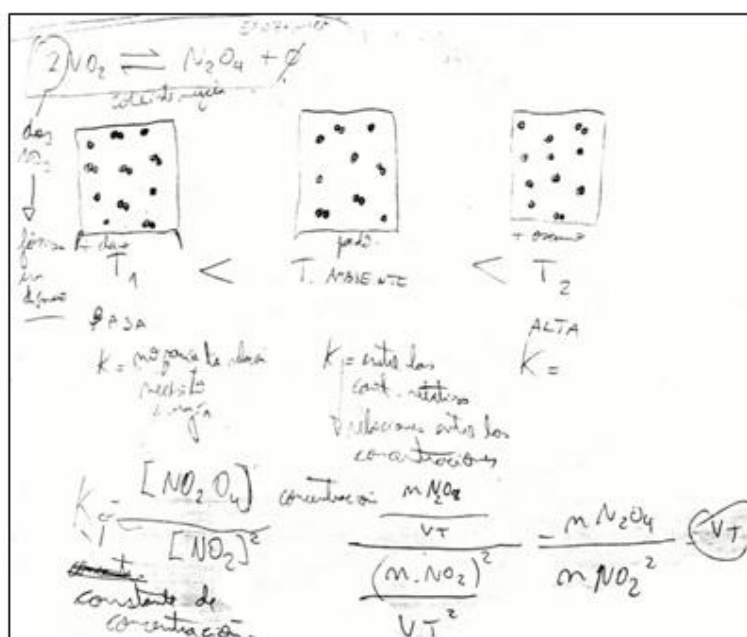


Figura 4.7. Registro tomado de la hoja de alumno N° 38

de las sustancias que intervienen, pero en ellas no se ha tenido en cuenta la conservación de los átomos de nitrógeno y de oxígeno presentes, particularmente entre las representaciones a T1 y Ambiente. Entre las representaciones a Ambiente y T2, sí parece que se ha prestado atención a la conservación de los átomos y a que *cada dos NO₂ se forma un dímero*, idea que aparece representada en el borde izquierdo de la hoja.

La situación antes comentada parece no ser percibida por los alumnos tampoco durante la puesta en común, a pesar de que este es uno de los aspectos que interesa aclarar a esta altura de la intervención y que, por lo tanto se lo trabaja en el pizarrón y se lo discute en gran grupo durante la clase (23 – Cuadro A2.5).

Las representaciones de átomos, moléculas, iones sirven para mostrar que las relaciones estequiométricas dadas por la ecuación química no dan información sobre la composición del sistema en el equilibrio. Sin embargo, en este caso, este tipo de representación microscópica, podría estar contribuyendo además, a hacer demasiado fuerte la idea de masa, frente a la de concentración de las sustancias presentes, ya que lo que se representa (moléculas, átomos, iones) da idea de cantidad de sustancia (en moles) y no de concentración. Esto podría agudizar más la dificultad para diferenciar los conceptos de concentración y de masa, cuestión que parece no ser tomada muy en cuenta por el docente, que usa indistintamente número de moles y concentración, sin diferenciarlos, como si los alumnos manejaran una idea clara y compartida del concepto de concentración.

Igual que en la actividad anterior, aparecen varios casos en los que los alumnos anotan sus ideas previas a la instrucción en el momento que se los insta a hacerlo, y luego no registran (o no diferencian unos registros de otros) lo que, al respecto, se discute en gran grupo o lo que plantea el profesor.

Se plantea a continuación una inquietud surgida en los grupos de trabajo durante la discusión anterior. ¿Qué sucede en el sistema si se añade NO₂ a temperatura constante? (23. Cuadro A2.5). El docente explica, aprovechando uno de los dibujos realizados antes en el pizarrón, que el efecto inicial será que habrá una mayor velocidad de dimerización hasta que se restablezca el equilibrio. Esto es, hasta que se consiga nuevamente la misma relación de concentraciones. Esa

relación de concentraciones -explica- es una constante a determinada temperatura, como lo era en el caso del agua, la presión de vapor:

P: En algunos grupos veíamos que si agregábamos NO₂ en el sistema a T₁, primero predomina la velocidad de la reacción de dimerización y luego se volverá a restablecer el equilibrio. Cada una de estas representaciones (dibujos) es una foto instantánea.... Se producen las dos reacciones

P: Se va a formar el dímero hasta llegar a tener nuevamente constante una relación de concentraciones. En el caso anterior hablábamos de la presión de vapor, ahora, de la relación entre las concentraciones. Enseguida veremos, para este sistema como se expresa esta constante de concentraciones... dependiendo del sistema.

P: Si agrego NO₂, se va a desplazar el equilibrio hacia la derecha para mantener la relación constante. ¿De qué va a depender esa constante?. Igual que en el caso del agua en el que la $p_v = f_c(T)$, en este caso la constante variará también sólo con la temperatura. La relación entre las concentraciones para este sistema se expresa de la siguiente manera... (23 - Cuadro A2.5).

Esta situación planteada es aprovechada por el docente para introducir la constante de equilibrio como relación de concentraciones, de una manera algo diferente a la planteada en la propuesta. Más adelante propone una forma general para la constante de equilibrio de cualquier sistema y retoma la idea central proponiendo a dos alumnos que dibujen en el pizarrón, con ayuda de sus compañeros, las representaciones microscópicas del sistema en equilibrio a dos temperaturas, para cada una de las cuales la K tiene sendos valores hipotéticos.

Continúa la discusión sobre el mismo sistema trabajando sobre la expresión de la constante de equilibrio en función de las concentraciones molares y relacionando esta información con la representación microscópica del sistema. De esta parte de la intervención se han podido hallar registros en sólo 6 hojas, en las que aparece la K expresada como una relación de las concentraciones de los óxidos en cuestión y estas a su vez, en términos de número de moles contenidos en un cierto volumen total, que se tomó como 1L. En la Figura 4.7 presentada previamente, puede apreciarse lo registrado en una de las hojas de alumno en relación con lo anterior.

En el desarrollo de la Actividad 3 hay que remarcar que uno de los aspectos salientes es que se trabaja en forma integrada en los tres niveles de representación. Ello es registrado por una parte importante de la clase. En general, los alumnos registran más que para la actividad anterior lo que se trabaja en clase, en gran parte, en forma de dibujos, ecuaciones y símbolos. En esta actividad parece tener más sentido para los alumnos, que en la anterior, escribir la ecuación química que representa el equilibrio.

Sin embargo, el trabajo realizado para definir la constante de equilibrio en términos de la relación de concentraciones, lo cual constituye uno de los objetivos centrales de esta actividad, ha sido muy poco registrado por los alumnos en sus hojas.

Se utilizan representaciones moleculares para:

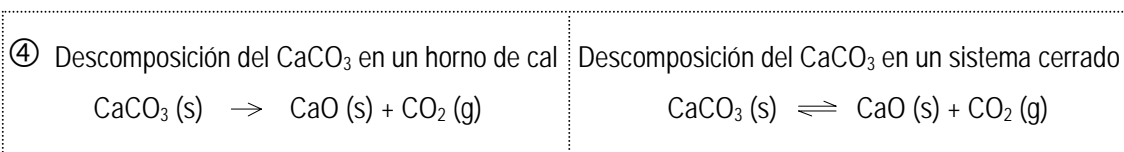
- Vincular la expresión de la ecuación química con cómo ocurre la reacción, al inicio del desarrollo de la actividad, lo cual aparece registrado en menos de la mitad de las hojas.
- Reafirmar que la estequiometría de reacción no dice cuantos moles de cada especie están presentes en el recipiente. Las representaciones que se utilizan resultan algo incompletas y al no discutirse lo que en realidad se está representando podría estarse reforzando la no diferenciación de los conceptos de masa y concentración.

Se usa la idea de sistema en equilibrio dinámico antes elaborada, para interpretar la coloración del sistema al inicio de la actividad, pero cuando los alumnos analizan en pequeño grupo lo que ocurre con el sistema ante un cambio en la temperatura usan el mismo razonamiento que se introdujo antes para el caso del sistema de la Actividad 2: si aumento la temperatura, se favorece la reacción exo. En la puesta en común se hace un análisis similar, sin volver sobre la idea de que: *los dos procesos siguen ocurriendo, pero en un determinado momento se da más rápidamente uno que otro, haciendo que el sistema se desplace, y se restablece el equilibrio, esto es, las velocidades de ambos procesos vuelven a ser las mismas.* Esto debió haberse retomado así en ambas ocasiones y podría haberse aprovechado para trabajar sobre la idea de extensión de la reacción.

Todavía aquí no parece haberse incorporado la idea de la constante de equilibrio como propia del sistema a determinada temperatura, como parte del concepto de equilibrio químico que se pretende desarrollar.

Actividad 4. Producción de cal viva a partir de caliza en un sistema abierto y en uno cerrado

El desarrollo de esta actividad se plantea sobre la base de que la descomposición del carbonato de calcio en hornos de cal es un proceso conocido por los alumnos y ya analizado, con otros fines, en el curso anterior de Introducción a las Ciencias Básicas. El docente inicia la actividad solicitando a los alumnos que consignen similitudes y diferencias de lo que están representando las dos ecuaciones que aparecen en la hoja del alumno.



Durante el trabajo en pequeños grupos se puede apreciar que la mayoría de los alumnos coinciden en señalar que la primera ecuación representa un proceso que ocurre en un sistema abierto y para la segunda representación, dicen que simboliza un equilibrio, por lo cual es necesario pensar que en el sistema cerrado se producen simultáneamente la descomposición de la cal y la "carbonatación" del óxido de calcio, a la misma velocidad. Se encuentran registros de este tipo de descripciones en la mayoría de las hojas.

El docente escribe a continuación, la expresión de la constante de equilibrio como una función de las concentraciones de las especies que intervienen y hace una muy rápida mención al hecho de que la K depende sólo de la concentración de dióxido de carbono (presión de vapor de CO_2) presente en el sistema ya que las concentraciones de las otras dos especies son constantes por tratarse de sólidos puros. También hace referencia a que ocurre lo mismo que con la concentración de agua líquida en las primeras actividades.

P: Aquí es necesario hacer una aclaración, recuerdan que cuando analizábamos, en el caso del agua, que la masa de agua líquida no influye en la presión de vapor, las concentraciones de CaO y CaCO_3 son constantes, ya que el número de moles en un determinado volumen, para un sólido o un líquido puros es constante y por tanto tampoco influyen en el valor de la K_{eq} para este sistema.

P: El número de moles de óxido de calcio en un determinado volumen, esto es, la concentración del sólido puro, es la densidad.... Cuando aumento la masa de sólido puro también aumenta el volumen que ocupa por que la relación m/V es propia de esa sustancia.

Por lo que la K_{eq} es sólo función de la concentración de CO_2 A una temperatura determinada entonces $K_{eq} = [CO_2]$ es constante (26 - Cuadro A2.6).

En el marco del desarrollo de esta actividad aparecen registros del trabajo sobre la constante de equilibrio del sistema en las hojas de alumnos. En 15 de ellas aparece explícito, que la representación $CaCO_3 (s) \rightleftharpoons CaO (s) + CO_2 (g)$, corresponde a un sistema de reacción cerrado, en el que ocurren dos procesos opuestos simultáneos, a diferencia de la otra ecuación dada, que estaría representando la formación de cal en un sistema abierto (Figura 4.8).

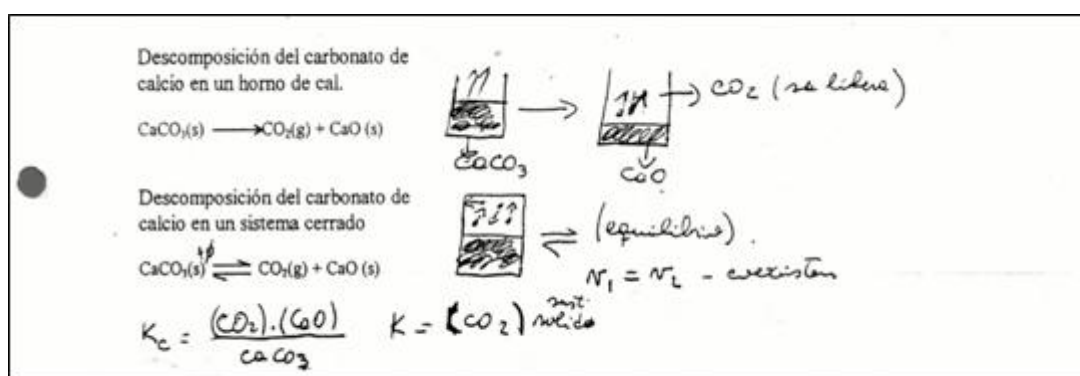


Figura 4.8. Registro tomado de la hoja de alumno N° 27

En un número importante de hojas de alumnos aparecen dos expresiones de la constante de equilibrio del sistema: $K = [CO_2][CaO]/[CaCO_3]$ y $K = [CO_2]$. Sólo en una de ellas se dice explícitamente que lo que hace que dichas expresiones sean equivalentes es que la concentración del sólido puro es constante.

En general puede decirse que en esta actividad se trabajó demasiado rápidamente y no se aprovechó lo suficiente. Es interesante analizar que la aparición en las hojas de los alumnos de registros que muestran la idea de que en el sistema cerrado en equilibrio dinámico *se producen simultáneamente la descomposición de la cal y la "carbonatación" del óxido de calcio, a la misma velocidad*, que no habían aparecido tan presentes en las actividades anteriores, podría deberse a que se trata de dos reacciones que resultan conocidas para el alumno. Pero también podría pensarse que recién a esta altura de la intervención, los estudiantes comienzan a valorar positivamente la forma de trabajo que se viene desarrollando, como así también, a considerar la relevancia que tiene la utilización de conceptos y modelos para elaborar interpretaciones. Empiezan a reconocer qué analizar y cómo hacerlo.

Fundamentalmente en lo que hace al trabajo sobre la constante de equilibrio, en términos de concentraciones y su relación con el ejemplo del agua, debió haberse realizado de manera más cuidadosa y con una mayor y más concreta participación de los alumnos. Aquí se pretendía discutir más profundamente la independencia de la constante de equilibrio de las especies sólidas puras presentes en el sistema, volviendo sobre el sistema de la Actividad 2.

4.3.2 Análisis del contenido conceptual puesto en juego en el desarrollo de las clases

El análisis del contenido conceptual que se trabaja en clase permite dar respuesta a ¿cuál fue realmente el conocimiento conceptual que circuló en las clases?. De igual forma que en el apartado anterior, se utilizan los datos surgidos de la observación de las clases y de las hojas de los alumnos, como complementarios.

Para el trabajo de análisis de los datos, según se explica en el Apartado 3.2.2: *Seguimiento del desarrollo de la propuesta en el aula*, se traduce el registro descriptivo en proposiciones, las cuales fueron previamente elaboradas como representativas del desarrollo del contenido conceptual que se pretende realizar en la propuesta. El repertorio de proposiciones inicial, se detalla a continuación, y se dan simultáneamente algunas explicaciones que pretenden constituirse en una herramienta para una mejor interpretación de cada una de ellas por parte del lector. Las proposiciones se han ordenado y/o agrupado para lograr una mejor descripción de su significado.

S) Sistema. Se incluyen en este grupo las proposiciones que permiten describir e interpretar el sistema material y su comportamiento.

S1) Un *sistema* queda definido por determinadas *sustancias intervinientes*.

Esta proposición, de índole muy general, plantea la idea de sistema en estudio desde el punto de vista de su composición. Se pretende estudiar el sistema como un todo.

S2) En un *sistema cerrado* puede tener lugar un *cambio reversible*.

La idea de un sistema cerrado (masa constante), en el que tiene lugar un cambio es central en cuanto punto de partida. Una de las condiciones para que en un sistema pueda ocurrir un cambio

reversible es que no haya intercambio de masa del sistema considerado, con el medio. Este cambio puede ser una reacción química, como reza la proposición siguiente, pero interesa en general analizar el comportamiento de los sistemas sin distinguir los cambios que en ellos ocurren, en físicos y químicos. No obstante, resulta relevante la proposición:

S3) Un *cambio reversible* puede ser una *reacción química*.

Dado que la idea de reversibilidad en los cambios químicos, tiene para el alumno sus propias dificultades, asociadas a que los procesos químicos muchas veces son considerados irreversibles, esta proposición encierra un conocimiento que habría de ponerse en juego explícitamente en clase.

S4) El *cambio reversible* ocurre según la *relación estequiométrica*.

Esta proposición resalta el significado del concepto relación estequiométrica, desde el punto de vista microscópico, a la vez que puede permitir introducir la idea de cómo ocurre el cambio desde una interpretación microscópica: los dos procesos opuestos simultáneos ocurren según una relación estequiométrica de las sustancias en ese sistema. Esta proposición aparece en el listado de proposiciones definitivo, como Una *reacción química* ocurre según la *relación estequiométrica*, por ser esta, la forma en la que se la ha trabajado en clase.

E) Equilibrio dinámico. En este grupo de proposiciones aparecen las que describen el sistema en equilibrio y permiten interpretar en parte su significado

E1) En un *cambio reversible* tienen lugar *dos procesos simultáneos*.

Esta proposición se ha incluido en el grupo de las dedicadas a describir y explicar el comportamiento del sistema en equilibrio dinámico porque se la considera el nexo adecuado con el grupo de proposiciones que describen el comportamiento del sistema en general.

E2) Los *dos procesos simultáneos* pueden alcanzar $v_1=v_2$ (la misma velocidad).

La velocidad de cada uno de los procesos está dada por el cambio de concentración de las sustancias que forman el sistema, en el tiempo.

E3) Un *cambio reversible* puede dar lugar a un *equilibrio dinámico*.

Esta proposición presenta el equilibrio dinámico como un estado posible de ese sistema en el que ocurre un cambio reversible.

E4) El *equilibrio dinámico* se alcanza cuando $v_1=v_2$.

La condición de equilibrio desde el punto de vista cinético se considera que resulta útil en la interpretación del aspecto dinámico del comportamiento del sistema.

Dicho equilibrio dinámico se alcanza si se cumplen las condiciones expresadas por las dos proposiciones siguientes:

E7) El *equilibrio dinámico* se puede alcanzar en un *sistema cerrado*.

E8) El *equilibrio dinámico* se da cuando es constante la *temperatura*.

E5) En *equilibrio dinámico* coexisten todas las *sustancias intervinientes*.

En realidad, en el sistema cerrado ya coexisten todas las sustancias intervinientes, pero interesa particularmente que esa coexistencia surja en el momento en que se discute el comportamiento del sistema cuando ha alcanzado el equilibrio.

E6) La *relación estequiométrica* no determina el número de moles de sustancias intervinientes presentes.

Esta proposición, si bien parece no aportar demasiado al significado de los conceptos involucrados, representa una de las ideas centrales en la interpretación del sistema en equilibrio desde el punto de vista macroscópico. Es importante que se trabaje desde la propuesta didáctica, mostrando que la composición del sistema en el equilibrio no se puede inferir a partir de la estequiometría de reacción, dado que es esta una de las dificultades detectadas en el aprendizaje del tema.

E9) El *equilibrio dinámico* está caracterizado por la *constante de equilibrio*.

El estado de equilibrio queda completamente caracterizado por la constante de equilibrio (K). Esta proposición abre la discusión a interpretar que la elaboración de una conceptualización acabada de equilibrio dinámico, sólo se consigue cuando se incorpora al estudio, la constante de equilibrio.

C) Equilibrio - Concentración - Constante

C1) La *constante de equilibrio* varía con la *temperatura*.

C2) La *constante de equilibrio* es una relación entre las *concentraciones de sustancias intervinientes*. La constante de equilibrio corresponde a una relación de las concentraciones ó presiones parciales de las sustancias que forman el sistema.

C3) La *concentración de sustancias intervinientes* es constante si se trata de la *concentración de fase condensada*.

C4) La *concentración de fase condensada* no interviene en la *constante de equilibrio*.

C5) El *equilibrio dinámico* no varía al variar la *masa de fase condensada* presente.

Las tres proposiciones anteriores expresan una idea que constituye una de las mayores dificultades encontradas en el aprendizaje del equilibrio químico: el hecho de que la concentración de un líquido o sólido puros es constante y lo que ello implica para el estudio del sistema en equilibrio.

R) Representación

R1) \rightleftharpoons significa *equilibrio dinámico*.

A partir de las proposiciones encontradas en el desarrollo de las clases, se elabora un mapa conceptual representativo del contenido conceptual trabajado en clase.

Estas mismas proposiciones se utilizan para analizar las desgrabaciones de clase que aparecen en el registro descriptivo del Anexo 2 y los registros de los alumnos en sus hojas. Las proposiciones base elegidas son además similares, a las que se utilizan más adelante para el análisis de las entrevistas. A través de ellas se intenta abarcar lo que se consideran, desde el punto de vista conceptual, los aspectos básicos de la conceptualización de sistema en equilibrio químico.

Análisis a partir de los datos surgidos de la observación

Como ya se comentara, a partir de los registros descriptivos de las clases teóricas, que se muestran en los Cuadros A2.1 a A2.6 al final del Capítulo, se ha recuperado en parte, el conocimiento conceptual trabajado, traduciéndolo en proposiciones, las cuales se detallan en la Tabla 4.5. El contenido que se analiza es, fundamentalmente, el puesto en juego durante el trabajo del profesor y los alumnos, en gran grupo, sobre cada actividad. La presencia de una proposición se muestra con una, dos o tres cruces, como un indicativo de la frecuencia con que aparece cada una en la actividad correspondiente. Cabe aclarar que el detalle de proposiciones

seleccionadas para el análisis no es exhaustivo en cuanto se limita a detectar la aparición de aquellas proposiciones que previamente se decide que interesa rescatar. No obstante, al final de la tabla inicial de proposiciones (Tabla 3.1) se ha incluido el título *Otros* para consignar algunas ideas adicionales que se trabajan en las diferentes actividades y que no se han podido traducir en proposiciones. También aparecen dos variantes de la proposición R, que interesa diferenciar.

Las proposiciones se infieren a partir de lo que se está diciendo y/o, en algunos casos, representando. Las cuatro primeras que aparecen en la Tabla 4.5 (proposiciones tipo S) describen el objeto de estudio como un sistema material en el que ocurre un cambio. Puede apreciarse que se trabajan poco entre las tres actividades. La proposición S4, aparece sólo en la Actividad 3 en la cual, como ya se analizó, se hace un buen trabajo de vinculación de los diferentes niveles de representación.

La proposición En un *sistema cerrado* puede tener lugar un *cambio reversible* (S2), implica la aceptación de que el cambio pueda ocurrir en ambos sentidos, simultáneamente, idea expresada en E1. Ambas proposiciones pueden inferirse durante el desarrollo de la Actividad 2, cuando el docente plantea, para el sistema cerrado de evaporación / condensación de agua: *Tengo moléculas en continuo movimiento, entonces es posible pensar que las partículas en la superficie del líquido pueden escapar y simultáneamente las partículas que están en la fase vapor pueden entrar al líquido. Simultáneamente, se están dando la evaporación y la condensación.*

La citada proposición se trabaja nuevamente en la Actividad 4 cuando se analiza el sistema cerrado de producción de cal viva a temperatura constante: *En el segundo caso, muchos han reconocido que tiene que haber un recipiente cerrado en el que tengo carbonato que se empieza a descomponer y varios preguntaron si puede el gas reaccionar con la cal..* (referencia a la carbonatación de la bolsa de cal). *Muchos también dijeron que se están produciendo ambos procesos simultáneamente a la misma velocidad* (25- Cuadro A2.6).

PROPOSICIONES	Actividades 1 y 2 (a12)	Actividad 3	Actividad 4
SISTEMA			
S1) Un sistema queda definido por determinadas sustancias intervinientes		X	
S2) En un sistema cerrado puede tener lugar un cambio reversible	X		X
S3) Un cambio reversible puede ser una reacción química		X	X
S4) El cambio reversible ocurre según la relación estequiométrica		X	
EQUILIBRIO			
E1) En un cambio reversible tienen lugar dos procesos simultáneos	X XX	X	X
E2) Los dos procesos simultáneos pueden alcanzar $v_1=v_2$	XXX		X
E3) Un cambio reversible puede dar lugar a un equilibrio dinámico	XX	X	X
E4) El equilibrio dinámico se alcanza cuando $v_1=v_2$	XX		X
E5) En el equilibrio dinámico coexisten todas las sustancias intervinientes	-----	XX	X
E6) La relación estequiométrica no determina la el número de moles de sustancias intervinientes, presentes	X*		
E7) El equilibrio dinámico se alcanza en un sistema cerrado.	X		X
E8) El equilibrio dinámico se da cuando es constante la temperatura.	X		
E9) El equilibrio dinámico está caracterizado por la constante de equilibrio (presión de vapor (pv))	X	X	
EQUILIBRIO – CONSTANTE – CONCENTRACIÓN			
C1) La constante de equilibrio (La pv) varía con la temperatura	X*	X	X
C2) La constante de equilibrio es una relación de concentraciones de sustancias intervinientes	-----	XX	X
C3) La concentración de sustancia interviniente es constante si se trata de la concentración de fase condensada.	-----	-----	X
C4) La concentración de fase condensada no interviene en la constante de equilibrio	-----	-----	X
C5) El equilibrio dinámico no varía al variar la masa de fase condensada presente	X*	-----	
REPRESENTACIÓN			
R) \rightleftharpoons significa equilibrio dinámico	XX	X	X
R') \rightleftharpoons significa dos procesos simultáneos	XX	X	X
R'') \rightleftharpoons significa $v_1=v_2$	X		X
OTROS			
En un sistema en equilibrio, macrocópicamente, no se observan cambios	X	X	
El sistema en equilibrio "reacciona" frente a una perturbación	X	X	
Al disminuir V_g , aumenta la condensación hasta que $p_{v1} = p_{v2}$	X		
En un sistema cerrado no hay intercambio de materia	X		
La dimerización es exotérmica, entonces, si aumenta T, aumenta el n° de moles de NO_2		X	

$v_1=v_2$: igualdad de velocidad de los procesos simultáneos; V_g : volumen ocupado por la fase gaseosa

Tabla 4.5. Proposiciones trabajadas durante el desarrollo de la propuesta

En ambas oportunidades las ideas representadas por las proposiciones S2 y E1 aparecen juntas y asociadas a la idea de sistema en equilibrio dinámico. No se hace mención al término reversibilidad. La idea de reversibilidad (E1), unida a la de sistema en equilibrio, queda planteada vinculada a la descripción del comportamiento del sistema cerrado con un modelo de materia

dinámico, desde una perspectiva no ligada a la representación mediante la ecuación con la doble flecha. La idea se apoya, para el caso de la Actividad 2 en una interpretación como esta:

P: *Si aceptamos el modelo cinético, no podemos pensar que quedó estático, sino que simultáneamente se están produciendo evaporación y condensación. Un grupo dijo por aquí que ocurren simultáneamente a la misma velocidad. Esto es fundamental para poder entender que hay reacciones.....* (9 - Cuadro A2.3)

Analizando ahora lo que ocurre durante la discusión en gran grupo con las proposiciones tipo E, esto es, aquellas que describen el equilibrio dinámico, se puede apreciar que se trabajan durante las Actividades 1 y 2 y se retoman luego en las dos actividades restantes, pero aparentemente, de manera menos integral; esto es, en el desarrollo de las Actividades 3 y 4 no están presentes todas las proposiciones de este tipo, parece que en cada una de dichas actividades se ha apuntado a un aspecto específico de la idea de equilibrio. Por ejemplo, en el caso de la Actividad 3, no aparecen las proposiciones que se refieren a la igualdad de velocidades, como tampoco las que tienen en cuenta las condiciones del sistema (cerrado, a temperatura constante). Sí se hallan presentes: En el *equilibrio dinámico* coexisten todas las *sustancias intervinientes*, reforzada por: La *relación estequiométrica* no determina el *número de moles de sustancias intervinientes* presentes en el sistema. Este, como puede apreciarse, es el aspecto del equilibrio en el que ha hecho hincapié el docente, durante el desarrollo de la actividad. La última proposición, E6, tiene significado diferente cuando se la trabaja en la Actividad 2, del que posee en el contexto de las Actividades 3 y 4. Dicha proposición se refiere, en la Actividad 2 a las masas de agua líquida y agua gaseosa, pero cobra mayor significado en la Actividad 3 por tratarse de un sistema químico. Allí se la trabaja de manera algo implícita cuando se elaboran en el pizarrón las representaciones moleculares, en las que se trata de evitar que aparezca un número de moléculas de cada especie que coincidan con el coeficiente estequiométrico correspondiente. Hubiese sido necesario, retomar la idea en la Actividad 4, en la cual esta proposición no aparece. Además, en las representaciones moleculares del sistema, la citada proposición se halla ligada a la aceptación de: El *cambio reversible* ocurre según la *relación estequiométrica* (S4), la cual surge sólo en la Actividad 3, de manera también demasiado implícita, como si los alumnos pudiesen interpretar sin dificultad qué se entiende por reversibilidad y cuál ese el significado microscópico de la relación estequiométrica.

La proposición: El *equilibrio dinámico* está caracterizado por la *constante de equilibrio* (E9) se puede reconocer en el desarrollo de la Actividad 3, cuando se introduce la constante de equilibrio y su relación con la concentración de las especies intervinientes (N° 23 - Cuadro A2.5). Allí se menciona muy al pasar la relación de esta idea con la de presión de vapor para el sistema anteriormente analizado, pero quizá se aprovecha poco lo discutido para el caso del agua que podría haberse retomado y profundizado.

Una de las proposiciones de tipo E que se trabajan en las tres actividades es E5 (En el *equilibrio dinámico* coexisten todas las *sustancias intervinientes*), que en la Actividad 3, se infiere de las representaciones moleculares del sistema, y se la expresa también de forma explícita; apareciendo entonces ligada tanto a la interpretación macroscópica del sistema como a su interpretación microscópica.

En la Actividad 4 se retoman las proposiciones E1, E2, E3 y E4 y E5, pero se las trabaja demasiado rápidamente, todas resumidas en unos pocos párrafos y unidas además, a las proposiciones S2, S3, E7 y R.

P: En el segundo caso, muchos han reconocido que tiene que haber un recipiente cerrado en el que tengo carbonato que se empieza a descomponer y varios preguntaron si puede el gas reaccionar con la cal

(El docente hizo referencia a la carbonatación de la "bolsa de cal").

P: Muchos también dijeron que se están produciendo ambos procesos simultáneamente a la misma velocidad (25 - Cuadro A2.6)

Las proposiciones tipo C aparecen muy parcialmente en las Actividades 2 y 3. Recién en la Actividad 4 se las trabaja más integradamente, salvo por la C5 que no aparece en estas actividades. La idea que, en tal sentido, se pone en juego en la Actividad 2: *La presión de vapor no depende de la masa de agua líquida presente en el sistema*, aplicada al sistema cerrado de evaporación / condensación de agua, se retoma, quizá sin la suficiente profundidad, cuando se la aplica al análisis de los sistemas de las actividades siguientes. Por ejemplo, en la Actividad 4, el docente plantea rápidamente, lo siguiente:

(Escribe en el pizarrón) $Keq = [CO_2] \cdot [CaO] / [CaCO_3]$

Aquí es necesario hacer una aclaración, igual que en el caso del agua, las concentraciones de CaO y CaCO₃ son constantes, ya que el número de moles en un determinado volumen,

para un sólido o un líquido puros es constante. Por lo que la K_{eq} es sólo función de la concentración de CO_2

Aparece de manera implícita: La *concentración de fase condensada* no interviene en la *constante de equilibrio* (C4), pero sin relacionarla explícitamente con lo trabajado en la Actividad 2: El *equilibrio dinámico* no varía al variar la masa de *fase condensada* presente (C5).

La representación mediante la ecuación se trabaja en las Actividades 2, 3 y 4 asociada, unas veces, a la descripción del sistema en equilibrio dinámico (R), y otras, simplemente a la ocurrencia de dos procesos simultáneos (R'), a lo que en algunos momentos se agrega, referencia a la igualdad de las velocidades de ambos procesos (R'').

En las tres primeras actividades aparecen afirmaciones tales como *En un sistema en equilibrio, macroscópicamente, no se observan cambios* y *El sistema en equilibrio "reacciona" frente a una perturbación* que no han sido incluidas en el listado inicial de proposiciones pero que resulta relevante rescatarlas dado que constituyen ideas que conforman el significado de equilibrio dinámico que se pretende trabajar.

Por otra parte, afirmaciones tales como: *Al disminuir V_g , aumenta la condensación hasta que $pV_1 = pV_2$* que tampoco es posible traducir en proposiciones, implican un tratamiento del sistema en equilibrio para el caso de la Actividad 2 que luego no se realizó de igual forma en los otros sistemas, pero que involucra una idea que es interesante aprovechar para continuar trabajando en la elaboración de lo que se entiende por sistema en equilibrio químico.

Otra afirmación, en relación con el mismo aspecto tratado antes y que se desea destacar es: *La dimerización es exotérmica, entonces, si aumenta T , aumenta el número de moles de NO_2* . Este enunciado conlleva una manera de interpretar el comportamiento del sistema ante el cambio de temperatura, que si bien no resulta incorrecto, no es la más adecuada cuando se analiza un sistema en equilibrio, en cuyo caso, la composición del sistema se ha de vincular con la relación de concentraciones dada por la constante a esa temperatura, y no con la mayor o menor masa de alguna de las especies, que podría preverse que se formará al variar la temperatura.

En la Figura 4.9 se muestra un mapa conceptual elaborado sobre la base de las proposiciones que figuran en la Tabla 4.5, diferenciando por el grosor de las líneas conectoras, la mayor o menor frecuencia de aparición de cada una en el trabajo en gran grupo, durante el desarrollo de la propuesta. Las proposiciones más frecuentes en las actividades, aparecen resaltadas con las líneas más gruesas y podría considerarse que integran el núcleo alrededor del cual el docente ha centrado el desarrollo del tema en el marco de la propuesta. Da mucha relevancia a la simultaneidad de los dos procesos, la igualdad de velocidades, el cambio reversible como estado a partir del cual se puede concebir el equilibrio dinámico y la ecuación química que representa el proceso.

El mapa permite apreciar que algunas proposiciones requieren una mayor profundización e integración. Tal es el caso de C3, C4 y C5, la comprensión de las cuales conlleva una gran dificultad para el alumno, dado que le demanda la interpretación del concepto de concentración, aplicado a la presencia en el sistema, de una fase condensada de la materia. También se trabaja

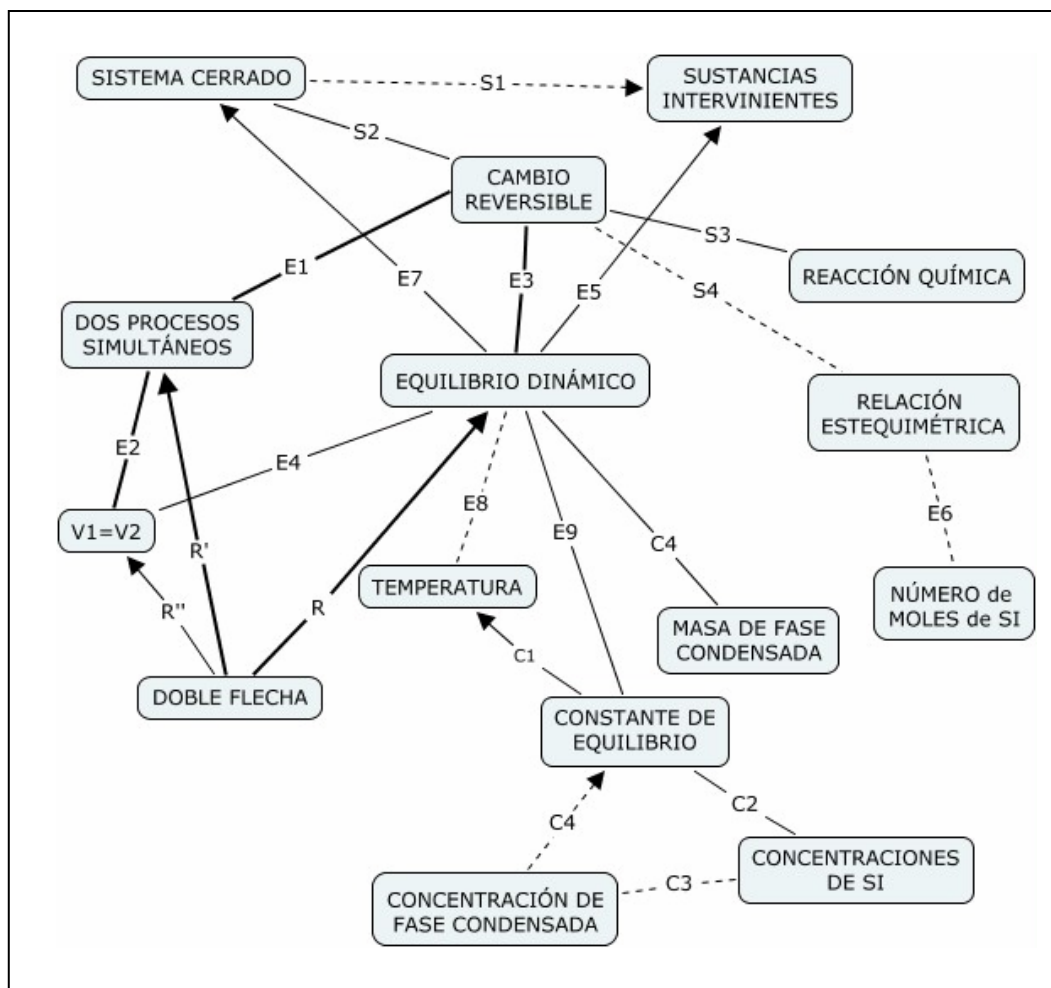


Figura 4.9. Mapa representativo del desarrollo de las clases, elaborado a partir del análisis de la transcripción de las clases

poco sobre la proposición S4, que se puede asociar a la interpretación microscópica de la relación estequiométrica, una de las ideas que se pretende potenciar en la propuesta.

Aquí debería ampliarse el trabajo en clase a otros ejemplos que permitan tratar este aspecto, como así también, retomar, cada vez que resulte posible, la idea de sistema en equilibrio dinámico surgida del análisis hecho previamente para el caso de la evaporación del agua en un sistema cerrado.

Análisis a partir de las hojas de los alumnos

La forma en que se lleva a cabo el análisis de las hojas es similar al realizado para las observaciones de clase. Utilizando las mismas proposiciones se pretende mostrar cuáles son las que aparecen explícitamente en las hojas de trabajo. Cuando se dice que las proposiciones u otras ideas aparecen explícitamente en las hojas se hace referencia a todo aquello que los alumnos han registrado con palabras, símbolos, dibujos, de forma tal que muchas veces es necesario interpretar, en el contexto de la clase, la proposición y/o idea, que conlleva un dibujo o similar. Se lo considera una manera de complementar la información acerca de las proposiciones que se rescata de la observación directa, que fueron trabajadas en clase. En las Tablas 4.6, 4.7 y 4.8, se ha volcado la información de las proposiciones que se rescatan de las hojas de los alumnos, correspondientes a cada una de las actividades de la propuesta. Se dispone de 40 hojas de los alumnos del grupo de clase, trabajando en grupos de dos.

Los registros para las Actividades 1 y 2 (Tabla 4.6) muestran que en sólo dos de las hojas de alumnos puede inferirse la proposición: En un *sistema cerrado* puede tener lugar un *cambio reversible* (S2). Es de destacar que se trata de dos de las hojas más completas (N° 4 y 20), en las cuales se encuentran referencias a todos los tipos de proposiciones analizadas (S, E, C y R).

PROPOSICIONES	Hojas de alumno																								GG																					
	f	1	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44		
SISTEMA DE REACCION QUIMICA																																														
S2) En un sistema cerrado puede tener lugar un cambio reversible	2			X															X																									X		
S3) Un cambio reversible puede ser una reacción química	---																																												---	
S4) El cambio reversible ocurre según la relación estequiométrica	---																																													---
EQUILIBRIO																																														
E1) En un cambio reversible tienen lugar dos procesos simultáneos	14			X		X		X		X									X						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	XXX			
E2) Los dos procesos simultáneos pueden alcanzar $v_1=v_2$	8																		X							X	X	X	X	X									X	X				XXX		
E3) Un cambio reversible puede dar lugar a un equilibrio dinámico	4																												X	X	X	X									X	X				XX
E4) El equilibrio dinámico se alcanza cuando $v_1=v_2$	1																		X																									XX		
E5) En el equilibrio dinámico coexisten todas las sustancias intervinientes	---																																												---	
E6) La relación estequiométrica no determina la el número de moles de sustancias intervinientes, presentes en el sistema	1																												X																X	
E7) El equilibrio dinámico se alcanza en un sistema cerrado.	3			X															X																										X	
E8) El equilibrio dinámico se da cuando es constante la temperatura.	3			X																						X				X																X
E9) El equilibrio dinámico está caracterizado por la constante de equilibrio (presión de vapor (pv))	---																																													X
EQUILIBRIO – CONSTANTE – CONCENTRACION																																														
C1) La constante de equilibrio (La pv) varía con la temperatura	5																												X	X	X	X						X							X	
C2) La constante de equilibrio es una relación de concentraciones de sustancias intervinientes	---																																												---	
C3) La concentración de sustancia interviniente es constante si se trata de la concentración de fase condensada.	---																																													---
C4) La concentración de fase condensada no interviene en la constante de equilibrio	---																																													---
REPRESENTACIÓN																																														
R) \rightleftharpoons significa equilibrio dinámico	5			X																									X								X	X	X	X					XX	
R') \rightleftharpoons significa dos procesos simultáneos	3																												X							X				X					XX	
R'') \rightleftharpoons significa $v_1=v_2$	1																																						X						X	
ALTERNATIVAS																																														
E1altern) Evapora y condensa como un ciclo	20	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	---		
OTROS																																														
En un sistema en equilibrio, macroscópicamente no se observan cambios	2																																												X	
Equilibrio es Dinámico	3																												X									X	X						---	
Al disminuir Vg, aumenta la vel. de condensación hasta que $pv_1=pv_2$	4	X																																				X	X						---	
Al disminuir Vg, aumenta la condensación hasta que $pv_1 = pv_2$	16			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
En un sistema cerrado no hay intercambio de materia	4							X	X	X									X																										X	

f: cantidad de hojas del alumno en las que aparece la información; GG: Desarrollo de la Clase en gran grupo; $v_1=v_2$: igualdad de velocidad de los procesos simultáneos; Vg: volumen ocupado por la fase gaseosa

Tabla 4.6. Proposiciones registradas en las hojas de alumnos ($n=40$) en las Actividades 1 y 2: sistemas abierto y cerrado de evaporación / condensación de agua.

La proposición que más se ha podido identificar en las hojas es E1: En un *cambio reversible* tienen lugar *dos procesos simultáneos*. Pero a la vez, se encuentra, en un número muy importante de casos, la idea alternativa a esta proposición, que se expresa como: *Evapora y condensa como un ciclo*. En cuatro de las hojas (N° 4, 20, 32 y 33) se han rescatado las dos proposiciones, lo cual podría interpretarse como que aparecen, tanto la idea elaborada durante la discusión en pequeño grupo como la trabajada luego durante la puesta en común. Las condiciones del sistema (cerrado, T constante), se hacen explícitas en muy pocos casos: en tres hojas se hace referencia al sistema cerrado, mientras que en otras tres se hallan registros de T constante. En general hay pocos registros de todas las proposiciones. La representación del proceso, mediante la ecuación correspondiente, si bien se utilizó en varias oportunidades durante el desarrollo de la clase, está explícita en sólo 8 hojas de alumnos.

Parecería que tanto las condiciones del sistema, como la expresión de la ecuación que representa el proceso son considerados, por el momento, detalles que no es necesario registrar. Proposiciones en las que se representa el sistema mediante la ecuación química, aparecen sólo en siete hojas. Probablemente, porque dichas representaciones no tienen demasiado sentido para los alumnos, que aún no saben "hacia dónde va" la instrucción.

Si bien aparecen registros referidos a las velocidades de los procesos, se los considera como expresión de E2, esto es, asociados a la producción de los dos procesos simultáneos a la misma velocidad, más que a la condición para que el sistema haya alcanzado el equilibrio. Esto tiene relación con que a esta altura de la instrucción, recién se está introduciendo la idea de equilibrio dinámico. Hay cuatro hojas en las que no se encuentran registros de estas proposiciones y otras once en las que sólo puede inferirse la proposición alternativa: *Evapora y condensa como un ciclo*.

Las hojas que podrían considerarse más completas, incluyen la proposición: La *presión de vapor* varía con la *temperatura* (C1) y al menos dos de las siguientes:

- En un *cambio reversible* tienen lugar *dos procesos simultáneos* (E1).
- Los *dos procesos simultáneos* pueden alcanzar la *misma velocidad* (E2).
- Un *cambio reversible* puede dar lugar a un *equilibrio dinámico* (E3).

Si bien son muy pocas las hojas en las que puede apreciarse lo anterior (3), ello conforma el registro de una parte importante de la idea de sistema en equilibrio dinámico que se está intentando proponer en clase. En dichas hojas aparece también explícitamente que Al disminuir el volumen ocupado por la fase gaseosa, aumenta la condensación, hasta que $p_1 = p_2$, idea que se encuentra en un total de dieciséis hojas.

Hay poca información en las hojas de los alumnos. Parecen haber registrado sus ideas al inicio y luego sólo consideraron importante anotar cuando se trabajó sobre la variación de volumen del sistema, donde fueron instados a reflexionar primero en pequeño grupo para luego hacerlo en gran grupo. En general, muy pocos alumnos han completado adecuadamente la información en sus hojas. No anotan lo que dice el profesor entre una y otra parte de la actividad y los que lo han hecho, han registrado, fundamentalmente, la información referida a la existencia de dos procesos simultáneos que ocurren a la misma velocidad, la variación de la presión de vapor con la temperatura, la representación del cambio mediante la correspondiente ecuación y algún registro de lo que ocurre con el sistema cuando se modifica el volumen ocupado por la fase gaseosa.

En la Actividad 3, muchos de los registros aparecen en forma de dibujos, ecuaciones y símbolos, lo cual requiere ser interpretado para su análisis. Por ejemplo, la proposición El *cambio reversible* ocurre según la *relación estequiométrica* (S4) se extrae de frases tales como: *Se rompen moléculas de dímero, por cada una se forman dos de NO₂ y simultáneamente a la inversa* (N° 37) y de las representaciones moleculares que realizan los alumnos, como las que se hacen en el pizarrón: tres recipientes conteniendo las especies en cuestión, a tres temperaturas diferentes. En las diez hojas en las que se registra explícitamente la proposición S4, aparece también la representación molecular. En muchos casos más, la proposición que puede rescatarse es: La *reacción química* ocurre según la *relación estequiométrica* (S4'), que surge de las representaciones. En tales casos, no resulta tan claro que se están refiriendo a los dos procesos simultáneos produciéndose según la relación estequiométrica. En la mitad de las hojas la representación molecular del sistema contempla la conservación de los átomos en la reacción.

Como puede apreciarse en la Tabla 4.7, de las proposiciones trabajadas durante la intervención, todas excepto S1, aparecen registradas en mayor o menor medida, en las diferentes hojas analizadas. Para esta actividad se encuentran registros más completos y un mayor número de alumnos que se interesan por anotar lo que se dice en clase. Esto podría tener relación con que el sistema en estudio les resulta más complejo que el del agua. Además, tener que explicar los cambios de color resulta un desafío más interesante que explicar la evaporación o la condensación de agua.

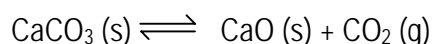
Si bien la proposición: Los *dos procesos simultáneos* pueden alcanzar $v_1=v_2$ (E2) no aparece explícita en la clase, sí se la encuentra en siete hojas de alumno. En ellas, la idea de simultaneidad de los dos procesos, expresada por E1, se completa con la de igualdad de velocidades, expresada en E2. Parecería que, al registrar sus ideas durante la discusión en pequeño grupo, los estudiantes utilizan como interpretación de este sistema, parte del modelo de sistema en equilibrio dinámico elaborado para el caso del agua. Es importante destacar que, de los siete casos mencionados aquí, sólo en tres se han hallado registros de las proposiciones E1 y E2, para la Actividad 2.

Algo similar ocurre con la proposición: El *equilibrio dinámico* se da cuando es constante la *temperatura* (E8), que si bien no se trabaja explícitamente en la clase, está siempre implícita cuando se propone analizar los cambios en el sistema, al variar la temperatura. Los alumnos la han registrado en siete de las hojas analizadas. De esta proposición se han encontrado muy pocos registros en las otras dos actividades.

Son muchas las hojas en las que aparecen registros que permiten inferir: \rightleftharpoons significa sistema en *equilibrio dinámico* (R) y en algunas también surge que la doble flecha significa dos procesos simultáneos, mostrando quizá, la relevancia que adquiere esta cuestión en relación con el significado que se va elaborando sobre sistema en equilibrio dinámico.

La proposición: En el *equilibrio dinámico* coexisten todas las *sustancias intervinientes* (E5) cobra mayor sentido que para el sistema de la actividad anterior y, dado que se la trabaja asociada a la representación molecular, se considera que aparece en las hojas cuando los alumnos dibujan el recipiente con ambas especies coexistiendo. La proposición El *equilibrio dinámico* está caracterizado por la *constante de equilibrio* (E9), aparece en seis hojas, pocas si se tiene en cuenta que es la única actividad en la que esta proposición se trabaja explícitamente y con alguna profundidad.

La Tabla 4.8 permite apreciar que, cuando se trabaja con la Actividad 4, los alumnos han registrado sólo algunas de las proposiciones puestas en juego, fundamentalmente aquellas que se vinculan con la expresión de la constante de equilibrio en función de las concentraciones y con características del sistema en equilibrio que surgen de analizar lo que representa la ecuación



- En un *cambio reversible* tienen lugar *dos procesos simultáneos* (E1);
- El *equilibrio dinámico* se puede alcanzar en un *sistema cerrado* (E7);

Con respecto a las proposiciones que se refieren a la representación con la ecuación (R, R' y R''), aparecen en un total de 21 hojas, en la mayoría de las cuales pudo rescatarse más de una proposición. Esto es debido a que la consigna inicial de trabajo en esta parte era describir lo que representa la ecuación. Se ha considerado que R surge cuando, al lado de la ecuación dice "representa equilibrio dinámico" y no describe.

Hay diez hojas en las que, no se han podido hallar registros de las proposiciones estudiadas, para esta actividad.

La Tabla 4.9 muestra comparativamente las frecuencias de aparición de las proposiciones en las hojas de alumnos para cada una de las tres actividades, y su registro en la clase.

PROPOSICIONES	a1 y a2		a3		a4	
	Clase	f	Clase	f	Clase	f
SISTEMA DE REACCION QUÍMICA						
S1) Un sistema queda definido por determinadas sustancias intervinientes			X	0		
S2) En un sistema cerrado puede tener lugar un cambio reversible	X	2			X	2
S3) Un cambio reversible puede ser una reacción química			X	1	X	0
S4) El cambio reversible ocurre según la relación estequiométrica	---	---	X	10		1
S4') La reacción química ocurre según la relación estequiométrica	---	---	---	26	---	---
EQUILIBRIO						
E1) En un cambio reversible tienen lugar dos procesos simultáneos	XXX	14	X	17	X	15
E2) Los dos procesos simultáneos pueden alcanzar $v_1=v_2$	XXX	8	---	7	X	3
E3) Un cambio reversible puede dar lugar a un equilibrio dinámico	XX	4	---	1	X	0
E4) El equilibrio dinámico se alcanza cuando $v_1=v_2$	XX	1	X	0	X	1
E5) En el equilibrio dinámico coexisten todas las sustancias intervinientes	X		XX	26	X	3
E6) La relación estequiométrica no determina la el número de moles de sustancias intervinientes, presentes en el sistema	X	1				
E7) El equilibrio dinámico se alcanza en un sistema cerrado.	X	3			X	19
E8) El equilibrio dinámico se da cuando es constante la temperatura.	X	3	X	7		1
E9) El equilibrio dinámico está caracterizado por la constante de equilibrio.	X	0	X	6		
EQUILIBRIO - CONSTANTE - CONCENTRACION						
C1) La constante de equilibrio (La pv) varía con la temperatura	X	5	X	2	X	1
C2) La constante de equilibrio es una relación de concentraciones de sustancias intervinientes	----	---	XX	5	X	25
C3) La concentración de sustancia interviniente es constante si se trata de la concentración de fase condensada.	---	---	---	---	X	0
C4) La concentración de fase condensada no interviene en la constante de equilibrio	---	---	---	---	X	1
C1) La constante de equilibrio (La pv) varía con la temperatura	---	---	---	---		
REPRESENTACIÓN						
R) \rightleftharpoons significa equilibrio dinámico	XX	5	X	27	X	19
R') \rightleftharpoons significa dos procesos simultáneos	XX	4	X	7	X	8
R'') \rightleftharpoons significa $v_1=v_2$	X	0			X	2
OTROS						
En un sistema en equilibrio, macrocópicamente, no se observan cambios	X	2	X	0	---	---
Evapora y condensa como un ciclo	---	20	---	---	---	---
Equilibrio Es dinámico	---	3	---	---	---	8
El sistema en equilibrio "reacciona" frente a una perturbación	X		X	13		
En un sistema cerrado no hay intercambio de materia	X	4	---	---	---	1
Al disminuir V_g , aumenta la condensación hasta que $p_{v1} = p_{v2}$	X	16	---	---	---	---
Al disminuir V_g , aumenta la vel. de condensación hasta que $p_{v1}=p_{v2}$	---	4	---	---	---	---
Si aumenta la temperatura, aumenta el número de moles de NO_2 (refiriéndose a la dimerización, reacción exotérmica)	----	---	X	9	----	---

f: cantidad de hojas de alumnos en las que aparece la proposición; $V_1=V_2$: igualdad de los procesos simultáneos; V_g : volumen ocupado por la fase gaseosa. --- significa que no se espera que se trabaje esa proposición.

Tabla 4.9. Frecuencias comparadas de aparición de las proposiciones en las hojas de los alumnos y en el desarrollo de la clase, para cada una de las Actividades.

Puede apreciarse que las proposiciones tipo S se trabajan poco entre todas las actividades y también resultan poco registradas en las hojas. S4, que aparece sólo en la Actividad 3, parece ser la más reconocida por los alumnos, más aún, si se consideran las dos versiones, que como ya se explicó, han podido detectarse.

Las proposiciones En un *sistema cerrado* puede tener lugar un *cambio reversible* (S2), y En un *cambio reversible* ocurren *dos procesos simultáneos* (E1) se trabajan juntas, tanto en la Actividad 2, como en la Actividad 4. La primera de ellas casi no se rescata de las hojas de los alumnos. Esto muestra que para los alumnos, lo más relevante es que ocurren dos procesos opuestos, sin prestar atención a la relación con el concepto de reversibilidad.

La Actividad 3, si bien no es la que resulta más rica en términos de proposiciones puestas en juego en la clase, sí lo es desde el punto de vista de lo que los alumnos han registrado durante su desarrollo. Como ya se comentó, si bien no se trabaja explícitamente en gran grupo que: *Los dos procesos simultáneos pueden alcanzar la misma velocidad*, esta idea aparece registrada en nueve de las hojas, mostrando que los alumnos han incorporado este aspecto del modelo de sistema en equilibrio dinámico y lo utilizan en las explicaciones que elaboran mientras discuten en pequeño grupo.

La proposición En el *equilibrio dinámico* coexisten todas las *sustancias intervinientes* (E5), que se trabaja explícitamente sólo en esta actividad, se ha podido rescatar de las hojas de los alumnos con una frecuencia importante.

En general para todas las actividades resulta pobre el registro de lo ocurrido, que los alumnos hacen en sus hojas. A pesar de que el docente planteó explícitamente, al inicio de la clase, la importancia de anotar todo lo que fuese surgiendo, los alumnos parecen no considerarlo relevante.

De las nueve proposiciones tipo E que se han trabajado en clase, algunas de ellas en todas las actividades (E1, E3), hay muy pocos registros en las hojas de los alumnos, siendo E1 (En un cambio reversible tienen lugar dos procesos simultáneos) la más frecuente; la cual quizá debería

expresarse de manera más adecuada como En un *equilibrio dinámico* tienen lugar *dos procesos simultáneos*.

La constante de equilibrio se trabajó en clase en las diferentes actividades. Desde su introducción (sin hacer uso de la terminología específica) a través de la presión de vapor en la evaporación/condensación del agua, hasta la definición en términos de una relación de concentraciones en el ejemplo de la dimerización y la posterior aplicación en el sistema cerrado de formación de cal. Sin embargo recién aparece registrada en un número importante de hojas de los alumnos (26), cuando se analiza el sistema en equilibrio CaCO_3/CaO . Además, su vinculación con el significado de sistema en equilibrio, a través de la idea de que se trata de una constante característica del sistema a determinada temperatura, se trabaja demasiado rápidamente durante la Actividad 3, como pudo apreciarse a partir de la descripción y análisis del desarrollo de las clases.

La idea de reversibilidad (E1), unida a la de sistema en equilibrio, planteada mediante la descripción del comportamiento del sistema cerrado con el modelo de materia, una de las "metas" centrales de la propuesta, aparece en un número importante de HA.

En el *equilibrio dinámico* coexisten todas las *sustancias intervinientes* (E5), se trabaja en las actividades 2, 3 y 4, pero sólo es registrada en las hojas, durante la Actividad 3, en la cual se halla ligada tanto a la interpretación macroscópica del sistema como a su interpretación microscópica. La proposición E6 se trabaja en gran grupo en la Actividad 2, y se debería haber retomado explícitamente en la Actividad 3, pero no se lo hace. Queda implícita en las representaciones moleculares que se elaboran.

Del análisis conjunto de la información obrante en las Tablas 4.6, 4.7 y 4.8, se observa que: En tres hojas no se han hallado registros de las proposiciones para las tres actividades; otras tres muestran registros sólo para la Actividad 3. En dos de ellas se registran varias proposiciones (E5, E9, C1, C2, R). Hay siete hojas de alumnos en las que no se identifican registros de las proposiciones en estudio, cuando se analizan las Actividades 1 y 2, pero sí cuando se trata de las otras dos actividades. Es necesario observar aquí que, trabajar de la manera en que se ha propuesto, discutiendo ideas en pequeño y gran grupo, proponiendo alternativas de solución, en

lugar de sólo escuchar la exposición del profesor, puede hacer que los estudiantes pierdan de vista la importancia de registrar en sus hojas lo que están elaborando. Al inicio de la clase, esta situación puede ser más determinante que a medida que se avanza en su desarrollo.

4.3.3 Principales conclusiones del análisis del desarrollo de la propuesta didáctica

Se presentan en este apartado algunas de las principales reflexiones que surgen del análisis de los datos comentados antes, en los Apartados 4.3.1. y 4.3.2, que apuntan a responder las preguntas que se formulan al inicio.

Es posible asegurar que se han respetado las ideas centrales acordadas con el docente, pero también que existieron algunos puntos “débiles” de la intervención, que han de ser tenidos en cuenta a la hora de analizar lo ocurrido con el aprendizaje; como así también, para la discusión en relación con el diseño de la propuesta mejorada, que aparece en el Capítulo 6. En líneas generales puede decirse que se ha seguido la secuencia de trabajo propuesta y ello ha permitido desarrollar los aspectos relevantes relacionados con la concepción de equilibrio dinámico. Partiendo del sistema evaporación / condensación de agua a temperatura constante, se analizaron otros dos sistemas propuestos aprovechando sólo en parte lo anterior, ya que en varias ocasiones, mientras se realizaban las Actividades 3 y 4, no se volvió a retomar lo discutido en la Actividad 2.

Del análisis de la secuencia de la intervención que puede hacerse a partir de los códigos de las dos últimas columnas de los Cuadros A2.1 a A2.6 puede apreciarse que se han incluido todas las actividades y partes de estas, previstas, y se ha respetado el ordenamiento global, con algunas modificaciones en relación con la secuenciación. La presentación temprana de la ecuación para representar el equilibrio, en el caso de la Actividad 2, puede llevar a que la ecuación sea el centro de la discusión y provocar dificultades ligadas a lo que esta representa para los alumnos. Más aún, considerando que luego el docente se apoya en dicha forma de representación para analizar lo que ocurre cuando cambia la temperatura del sistema, en lugar de hacerlo en el modelo de materia microscópico.

En una parte importante de las clases se trabaja a partir de la hoja del alumno, de la manera en que se había pautado, esto es, primero el docente aclara la consigna de la actividad, a continuación los alumnos trabajan en grupos de 2 ó 3 discutiendo sus ideas acerca de la situación propuesta y posteriormente se retoma el trabajo en gran grupo para la puesta en común, con la guía del docente, quien procede luego al desarrollo del nuevo conocimiento, a partir de ello. Se considera que esta forma de trabajo da oportunidad a los alumnos de expresar sus ideas y discutir las con sus pares; emplearlas para elaborar explicaciones y sobre esa base, construir sus propias interpretaciones aceptando los modelos que el profesor propone. En este sentido, al inicio del desarrollo de las actividades introductorias el docente destaca la importancia que tiene para el aprendizaje, que los estudiantes sean conscientes de sus ideas y de las similitudes y diferencias que estas tienen con las ideas de la ciencia. Hace un esfuerzo, sobre todo en las primeras actividades, por resaltar que existen varias interpretaciones diferentes que surgen del trabajo de los grupos de estudiantes y por tenerlas en cuenta en su intervención. Lo numeroso del grupo hace que no todos los estudiantes participen en esas discusiones amplias. En ocasiones, como por ejemplo al inicio de la segunda clase y en una parte importante del desarrollo de la Actividad 4, el docente modifica esta forma de trabajo quizá a causa del escaso tiempo de que dispone. Esta situación lleva a que la clase expositiva se centre casi exclusivamente en el discurso del profesor, con intervenciones de los alumnos pero sin que el docente las tenga en cuenta en su discurso, transformándose así la clase en una exposición dialogada sin intervención real del alumno (de Longhi; 1996). Quizá por esta razón, a lo que se suma que se trata de una manera nueva de trabajar en clase, no hay demasiadas oportunidades de asegurar que los alumnos son conscientes de las diferencias y similitudes entre sus ideas y las que se les proponen. Esto se refleja en el análisis de algunas hojas de los alumnos en las que puede observarse que han superpuesto sus propias ideas y las trabajadas por el docente en gran grupo, sin diferenciar unas de otras, o bien no han consignado las nuevas, surgidas en la puesta en común.

Hay que destacar que cuando los alumnos trabajan en pequeño grupo, lo hacen muy entusiasmados y preocupados por encontrar la forma de interpretar cada cuestión de las que se plantean. Este es un rasgo que es necesario subrayar dado que se trata de un tipo de tarea y de una forma de trabajo que no es habitual durante las clases teóricas en lo que han vivido dentro de la universidad.

En más de una ocasión, el docente utiliza la ecuación que representa los sistemas en equilibrio que se están estudiando, acompañada de la representación microscópica del recipiente, y hace uso de ambas formas de representación para hacer hincapié en los aspectos que desea resaltar: que la ecuación da información sobre cómo ocurren a nivel molecular los procesos, que las especies intervinientes coexisten en un mismo recipiente y que la estequiometría de reacción no da información acerca de las cantidades (en moles) de cada especie presente en el recipiente. El citado trabajo, realizado tanto en las Actividades 2 y 3 resulta adecuado y quizá más significativo para los alumnos cuando se desarrolla la Actividad 3.

Un aspecto en el que se insiste durante el desarrollo de la Actividad 2, es en analizar los dos procesos que ocurren simultáneamente en términos de modelo cinético molecular, teniendo en cuenta que si bien los alumnos aceptan la espontaneidad de la evaporación a temperatura ambiente, no parecen reconocer tan fácilmente, que la evaporación y la condensación puedan ocurrir simultáneamente. Para muchos de ellos hay evaporación y condensación, pero como un "ciclo", una a continuación de otra. El modelo permite justificar que necesariamente ocurren los dos procesos (evaporación y condensación) de manera simultánea. Esta idea de reversibilidad se utiliza en todas las actividades, vinculada a la descripción del comportamiento del sistema en equilibrio dinámico, sin considerar que una parte importante de los alumnos del grupo en estudio, no diferenciaron, en la prueba previa, la representación de un proceso reversible de otro que no lo es. El desarrollo de este aspecto en el marco de las Actividades 3 y 4 podría haber sido un buen momento para integrar la interpretación microscópica del sistema con el concepto de reacción química y de reversibilidad que poseen los alumnos y ampliar así sus significados. Este aspecto es discutido también por otros trabajos de investigación que tratan el aprendizaje del equilibrio químico.

Cuando el docente habla de *agregar energía de un lado u otro de la ecuación química* que representa el sistema en equilibrio, puede reforzar la interpretación del equilibrio como si se tratase de dos compartimentos separados, dificultad detectada por muchos trabajos de investigación y que podría tener vinculación con la representación a través de la correspondiente ecuación química. En cambio, cuando aprovecha las representaciones de átomos, moléculas, iones presentes en el recipiente de reacción, para mostrar la coexistencia de todas las especies en el mismo recipiente, con lo cual insiste en distintas oportunidades durante el desarrollo de la

Actividad 3, está trabajando, desde lo microscópico apuntando a que los alumnos conciban la mezcla en equilibrio como una sola, y lo relacionen con la información dada por la ecuación química. Lograr un delicado equilibrio en el uso de los tres niveles de representación e interpretación (macro, micro y simbólico) es una de las premisas con que se pretende trabajar. Se hace un buen trabajo de integración de los tres niveles de interpretación aquí y al inicio de la segunda clase, durante la revisión de lo realizado antes y, en general, en todas las actividades este es un aspecto en el que se pone mucho énfasis. En algunos momentos, como por ejemplo cuando en la Actividad 2 se analiza la perturbación que produce un aumento de la temperatura, no se hace un adecuado uso del modelo y de la representación simbólica.

Otro aspecto que resulta relevante para la propuesta que se analiza, es conocer cómo y en qué medida se hace uso del modelo microscópico de materia. Durante el desarrollo de la actividad de introducción, especialmente pensada para trabajar en la descripción e interpretación de sistemas utilizando el modelo de materia, es muy heterogéneo el conocimiento que manejan los estudiantes. Aparece claramente que los alumnos prefieren las explicaciones macroscópicas de los fenómenos y no están familiarizados con el modelo, fundamentalmente con su aspecto dinámico; el cual es central, para el desarrollo que se pretende hacer, de la idea de sistema en equilibrio. En tal sentido, es importante rescatar aquí, que muchos de los estudiantes de este grupo han podido, después de trabajar con el modelo de materia para la interpretación del globo inflado con un gas, y de las discusiones de las que participaron en relación con la utilización del modelo para sustancias líquidas, elaborar explicaciones que incluyen el movimiento de las partículas como uno de los elementos del modelo, el cual en la prueba previa había resultado casi inexistente.

En las actividades correspondientes a la propuesta, el docente trabaja usando el modelo microscópico de materia, en la interpretación de:

- El comportamiento de los sistemas abierto y cerrado de evaporación y evaporación / condensación de agua a temperatura ambiente. Insiste en varias oportunidades en resaltar que el aspecto dinámico de dicho modelo es fundamental a la hora de interpretar el comportamiento de un sistema en equilibrio.

- La composición del sistema $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$ a distintas temperaturas: esto contribuye a afianzar la idea de que la ecuación química me da información acerca de cómo ocurre cada proceso pero no sobre la composición del sistema en equilibrio.
- Cómo el cambio en la concentración de NO_2 afecta a las velocidades directa e inversa, hasta que se restablece el equilibrio. Esta idea se trabaja sobre la representación microscópica del sistema y asociada a la K_{eq} definida por la relación de concentraciones, a cada temperatura.

El modelo de materia se utiliza en varias oportunidades para describir e interpretar, pero aparece poco registrado o incompleto y, en varias de las hojas siguen apareciendo ideas alternativas en relación con él. Hay un uso adecuado del modelo molecular en quince de las hojas analizadas. En la mitad de ellas se hacen explícitas las características fundamentales de un sistema en equilibrio tratadas en la Actividad 2, como así también, lo referido a cómo se comporta el sistema ante un cambio del volumen ocupado por el gas. Cuando esto se discutió en gran grupo, se debió haber aprovechado para introducir la diferenciación entre velocidad y extensión del proceso, aspecto que más adelante podría haber sido retomado durante el desarrollo de la Actividad 3, cuando se analiza el comportamiento del sistema a diferentes temperaturas. También en esta actividad debió haberse hecho más hincapié en atender a las dificultades que tiene el alumno para diferenciar entre los conceptos de masa y concentración. Más aún, cuando se realizan las representaciones de los recipientes conteniendo el sistema en equilibrio a dos temperaturas diferentes, si bien ello sirve para que los alumnos analicen la composición del sistema y su relación con la constante de equilibrio, se está trabajando indistintamente con moles o moles/l, pero ello no ayuda a la diferenciación de ambos conceptos antes citados.

Se aprovecha muy poco la Actividad 4, quizá por falta de tiempo. A esta altura de la intervención se estaría en condiciones de analizar, para el sistema en cuestión, el comportamiento si cambia la masa de carbonato presente o si se modifica el volumen del recipiente, atendiendo a todo lo desarrollado para los sistemas anteriores.

Se considera que un aspecto de la concepción de equilibrio que debería haberse trabajado más, es la expresión de la constante de equilibrio y su independencia con la masa de fase condensada presente. Ello se plantea ya al inicio, a partir del concepto de presión de vapor y su

relación con la masa de agua líquida en el recipiente. Quizá debería haberse retomado este ejemplo una vez avanzada la instrucción en el desarrollo de las otras dos actividades.

A partir del análisis del desarrollo de la propuesta, podría pensarse que resulta necesario:

- Volver, durante el desarrollo de las Actividades 3 y 4, sobre lo analizado en la Actividad 2.
- Aprovechar mejor el modelo de materia para discutir acerca del comportamiento del sistema de la Actividad 2 ante los cambios de temperatura.
- Tener en cuenta las dificultades de los alumnos con el concepto de reversibilidad.
- Cuando se usa la representación microscópica para mostrar la coexistencia de las especies y la independencia de las cantidades presentes y la relación estequiométrica, tener cuidado de que ello no ayude a afianzar más el trabajo en términos de masa y se descuide la incorporación de la idea de concentración como clave en este tema.

Requerida la opinión del docente acerca del desarrollo de la propuesta en aula, este hizo hincapié en que sería necesario disponer de más tiempo, ir integrando actividades “de fijación” y evaluando los conceptos que los alumnos van integrando. Esto muestra una vez más, la preocupación del profesor por la evaluación continua. Lo que denominan actividades de fijación, podrían ser actividades que deberían incluirse en la fase de aplicación. Hasta aquí se ha avanzado, en el marco del presente trabajo, con el contenido de la intervención especialmente diseñada.

La clase de resolución de ejercicios que se desarrolla dos días después, consiste en dos horas durante las que los estudiantes trabajan con una parte del equipo de la asignatura, en la realización de ejercicios en los que han de aplicar lo desarrollado en las clases teóricas. De esta clase, la investigadora tiene acceso a la guía de trabajo (Anexo 1), en la que aparecen los ejercicios a resolver, la mayoría de los cuales apuntan al cálculo de la constante de equilibrio. La clase se desarrolla de forma tal que los alumnos resuelven individual o grupalmente las consignas de trabajo y los docentes atienden las consultas que les realizan.

El análisis del aprendizaje que se presenta a continuación en el Capítulo 5, permite continuar reajustando la propuesta didáctica en cuestión.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Uno de los objetivos que orienta este trabajo es conocer, después de la aplicación de la propuesta especialmente diseñada, lo ocurrido con la comprensión conceptual del Equilibrio Químico (Objetivo 3). Las entrevistas personales a diez estudiantes pertenecientes al grupo con el que se desarrolló la propuesta en el aula, son el instrumento de toma de datos utilizado. Los estudiantes se eligen al azar, por sorteo entre los que asisten a las clases, usando para ello el número de inscripción a la asignatura Química Biológica. Se han diferenciado los siguientes apartados:

5.1. El capítulo se inicia con una caracterización de los entrevistados realizada a partir de los datos personales, y a algunos que surgen de las entrevistas, a partir de las respuestas a las preguntas destinadas a que describan su situación educativa, fundamentalmente, en relación con Química.

5.2. A continuación se describen los *Resultados del análisis de las entrevistas*.

5.3. Finalmente se presentan las principales conclusiones sobre lo ocurrido con el aprendizaje.

5.1 Caracterización de los diez alumnos sobre los que se estudia el aprendizaje

En la Tabla 5.1, se presentan datos característicos, para los diez alumnos que participan de las entrevistas, cuatro mujeres y seis varones. En las tres primeras columnas aparecen el número de lista en la asignatura, el de la hoja del alumno y el de la entrevista, correspondiente a cada uno de ellos. A continuación aparecen: nombre (alias), edad, sexo y procedencia, a los que se agrega información acerca de los estudios secundarios (tipo de título obtenido, año de egreso y promedio). Los diferentes títulos secundarios que poseen se han agrupado en tres categorías que ya se definieron en el Capítulo 3: títulos tipo A, corresponden a carreras con fuerte formación físico – matemática; títulos tipo B, corresponden a formaciones vinculadas con el campo profesional de la carrera universitaria elegida; y títulos tipo C, en los que se incluyen todos los demás. En la última columna se presenta la calificación obtenida por cada uno en la prueba diagnóstica de Química (PDQ), tomada durante el desarrollo del curso *Introducción a las Ciencias Básicas*, previo a la asignatura *Química Biológica*. Esta calificación reflejaría, en parte, la formación alcanzada en Química durante la educación secundaria.

Referencias			Nombre	Edad	Sexo	Procedencia	Estudios secundarios			Prueba diagnóstico
N° lista	N° HA	N° entrev.					Tipo título	Año egreso	Promedio	Nota
32	17	1	Maria	18	F	Mar del Plata	C	año anterior	8,78	7
57	17	2	Laura	22	F	Mar del Plata	C	año anterior	8,07	0
49	37	3	Javier	21	M	Mar del Plata	B	4 años antes	8,38	6
41	36	4	Juan	18	M	Bolívar	C	año anterior	7,15	3
120	15	5	Lorena	19	F	Bahía Blanca	A	2 años antes	7,43	1
131	19	6	Facundo	19	M	Ayacucho	B	año anterior	8,85	8
48	32	7	Federico	19	M	Mar del Plata	B	año anterior	8,03	1
37	14	8	Daniel	18	M	Coronel Dorrego	A	año anterior	7,26	6
81	----	9	Beto	20	M	Neuquén	A	2 años antes	8,00	4
115	11	10	Soledad	19	F	Tandil	C	año anterior	7,78	8

Tabla 5.1. *Datos de los alumnos sobre los que se estudia el aprendizaje*

Estos datos para el grupo de clase en su conjunto se han presentado ya en el Apartado 3.1.3: *Características del grupo de estudiantes con el que se desarrolla la propuesta*.

En la Tabla 5.1 puede apreciarse que los estudiantes provienen de seis localidades diferentes, cinco de ellas, de la provincia de Buenos Aires y el resto, de la provincia de Neuquén. La diversidad en la procedencia de los estudiantes es una característica del grupo de clase que se puede apreciar también en el grupo de los entrevistados.

Se observa además, en relación con los estudios secundarios, que siete de los diez alumnos acaban de culminarlos en el año anterior y que egresaron con promedios entre 7.15 y 8.85. Tres de los entrevistados poseen títulos con orientación en matemática y ciencias naturales, cuatro tienen títulos tipo C y otros han obtenido su titulación de educación secundaria, vinculada a la futura formación profesional. Se trata entonces, de estudiantes con formaciones previas diversas.

En la Tabla 5.2 se presentan comparativamente algunos de estos datos para los diez entrevistados y para el grupo de clase.

	Entrevistados (N = 10)	Grupo clase (N = 80)
Relación mujeres / varones	4/6	29/51
Títulos tipo A/B/C	3/3/4	18/22/40
Obtuvieron título de educación secundaria el año anterior	7	63
Nota final educación secundaria (media)	7.97	7.76
Edad promedio	19.3	18.7

Tabla 5.2. *Datos comparativos: grupo de clase y estudiantes entrevistados*

Hay entre los entrevistados, varones y mujeres en una relación 4 a 6, mientras que en el grupo de clase, la citada relación resulta un poco menor, con un predominio numérico importante por parte de los varones, como se comentara en el Capítulo 4. La distribución del tipo de títulos de educación secundaria que poseen los diez estudiantes entrevistados, resulta comparable con la del grupo grande. Los otros datos que se consideran son: el número de estudiantes que obtuvieron su título de educación secundaria el año anterior e inmediatamente ingresaron a la carrera Medicina Veterinaria, la media de la nota final obtenida en esa formación previa a la universidad, para cada uno de los grupos y la edad media de los estudiantes de cada grupo. Los datos muestran que los diez entrevistados, elegidos por sorteo, pueden considerarse representativos del grupo de clase.

Por otra parte, en el examen diagnóstico de Química que resuelven cuando ingresan a la Universidad (Tabla 5.1), cuatro estudiantes, de los diez entrevistados, obtienen una calificación menor a 4. Otros tres, obtienen entre 4 y 6 y los tres restantes, 7 ó más puntos. La heterogeneidad del grupo, en cuanto a su formación inicial previa a la Universidad, específicamente en lo que a Química se refiere, puede verse reflejada en las notas que obtienen en la citada prueba de diagnóstico. Sobre este y otros aspectos relacionados puede hacerse una

caracterización más profunda de los entrevistados, a partir de las respuestas obtenidas a una parte de las preguntas de contexto incluidas en las entrevistas realizadas. Ello permite precisar un poco más la situación del grupo, fundamentalmente en relación con su formación previa en Química. Las preguntas están orientadas a obtener información acerca de cómo los alumnos se plantean el estudio de las diferentes asignaturas, qué formación previa en Química poseen, qué contenidos de Química les han resultado nuevos; entre algunas otras cuestiones.

De la Tabla 5.1. puede apreciarse que Laura, Juan, Federico, Lorena y Beto, son los estudiantes que parten de las situaciones aparentemente más desfavorables, en relación con su conocimiento en Química. De ellos, los tres primeros, tienen su primera experiencia en la Universidad, en tanto que Lorena inició otra carrera universitaria previamente y Beto hace su segundo intento en Medicina Veterinaria; después de haber asistido el año anterior al Curso de Introducción a las Ciencias Básicas que se lleva adelante entre febrero y marzo.

Cuando los estudiantes entrevistados opinan acerca de la relación de lo que están viviendo en ese momento y su reciente paso por la educación media ó secundaria, solamente Beto considera que tiene una buena formación adquirida en la escuela media. María, Juan y Daniel dicen claramente que para ellos se trata de un cambio muy importante. La poca dedicación al estudio en el secundario es marcada como una de las grandes diferencias con la instancia universitaria, por dos de los estudiantes entrevistados:

En el secundario no estudiábamos mucho y no sabíamos estudiar. Acá te golpeás un montón. Es como que pensás que sabés cómo estudiar porque tenés un montón de cosas que aprendés de memoria o no sabés como estudiar o no te da el tiempo (Lorena)

Es muy distinto, en la secundaria no tenés muchas responsabilidades (Juan)

Ocho de los jóvenes de este grupo dicen que casi todos los temas que están estudiando en la Universidad les han resultado nuevos. Es de destacar que María y Laura dicen no haber tenido nunca Química en la escuela secundaria. Esta situación puede darse en casos en los que, como estas estudiantes, han realizado los estudios secundarios en carreras con orientación pedagógica o en ciencias sociales.

Resulta interesante analizar las ideas que aparecen en las entrevistas ante la pregunta sobre cómo se plantean el estudio en la Universidad. Algunos dicen estudiar igual todas las materias, otros diferencian entre aquellas materias que requieren razonar y entender, y las demás:

Leo varias veces, trato de entender. Estudio todo de la misma manera (Daniel).

Para estudiar, tengo primero que entender y después llevarlo a la práctica. Todo lo saco por razonamiento (María).

Es distinto para todas las materias. Biología es para estudiar, leer y entender y Química es para entender. Me imagino haciendo ejercicios y entendiendo lo que pasa molecularmente y ya lo puedo tener (Javier).

Quiero saber el por qué de las cosas... Me acuerdo de lo que me explican. Hay materias de leer y ejercitarse (Biología, Química) y otras de memorizar (Beto).

Trato de no estudiar de memoria, de buscarle la vuelta para entenderlo. Me cuesta razonar ... Química es más de razonar, en cambio en Biología hay cosas que te las tenés que acordar de memoria, los nombres..., igual trato de relacionar... (Juan).

El análisis de las respuestas descritas anteriormente permite reafirmar que los jóvenes entrevistados son estudiantes universitarios con muy poca experiencia en ese rol, y en cuyo paso reciente por el nivel educativo medio (escuela Polimodal o escuela Secundaria) han tenido pocas oportunidades de formación en temas químicos. La mayoría de ellos también reconoce que ha modificado su postura como estudiante respecto de la que poseía en el nivel previo. La responsabilidad en relación con el aprendizaje es una de las características que rescatan como significativa, para definir el mencionado cambio.

5.2. Resultados del análisis de las entrevistas

Se estudian, para los diez alumnos, las principales características de la conceptualización que han desarrollado sobre equilibrio químico y el significado que dan a los conceptos de reacción química, reversibilidad y ecuación química. Es necesario recordar aquí que el significado de equilibrio dinámico que se pretende que los alumnos desarrollen durante la instrucción con la propuesta, tiene tres aspectos, de los cuales lo que se intenta trabajar, es lo siguiente:

- *Desde el punto de vista macroscópico (externo al sistema):* se trata de un sistema cerrado, a temperatura constante, en el que coexisten todas las sustancias que

intervienen, en una relación de concentraciones, expresada por la constante de equilibrio. En dicho sistema, aparentemente, no hay cambios. La composición de la mezcla en el equilibrio no está vinculada con la estequiometría de reacción. Esta es una de las cuestiones que presentan alguna dificultad para su comprensión. Es frecuente que se asocie la cantidad de cada una de las sustancias (en moles) que hay presentes en el sistema en equilibrio, a la estequiometría de reacción. Este es un punto muy importante ya que, como se ha discutido en el Capítulo 2, es habitual que los alumnos desarrollen una idea de reacción química muy asociada a la de ecuación química, particularmente a la estequiometría, que parece ser la responsable de ésta y otras dificultades de aprendizaje en Química.

- *Desde el punto de vista interno al sistema (no observable):* en el sistema cerrado, a temperatura constante, continuamente están ocurriendo, según la relación estequiométrica, dos procesos opuestos a la misma velocidad. Esta interpretación está vinculada, en el marco de la propuesta didáctica, a la utilización del modelo de materia, lo cual presenta dificultades propias del trabajo con modelos.
- *Desde el punto de vista termodinámico:* el estado de equilibrio sólo puede interpretarse y ser caracterizado plenamente, por la constante de equilibrio, cuyo valor para un sistema determinado, a una temperatura dada, sólo puede justificarse desde la Termodinámica. Si bien este aspecto se incluye sólo parcialmente en la propuesta, a través de la introducción de la constante y su dependencia con la temperatura, se espera que los estudiantes lleguen a interpretar la constante de equilibrio como propia del sistema a una temperatura dada y su expresión como relación de concentraciones de las especies que intervienen. Aquí, uno de los problemas que se presenta tiene relación con el concepto de concentración que poseen los alumnos.

Desde la postura de aprendizaje que guía este trabajo, es muy importante destacar que, a medida que se aprende, las ideas que ya se tienen también se van modificando. Tal es el caso aquí, de las ideas de reacción química y de reversibilidad; como así también, del modelo microscópico de materia, las cuales no sólo influyen en el aprendizaje del equilibrio químico, sino que además se modifican durante el desarrollo del tema.

Como se explica en el Capítulo 3, a partir de las cuatro transcripciones de entrevistas disponibles y de las grabaciones en audio de las otras seis, se procede a rescatar las proposiciones presentes en cada entrevista, que conforman el mapa conceptual construido previo a la realización de las mismas, o mapa base. Se construye entonces la Tabla 5.4 de proposiciones (se indica más adelante en la página 247) y se vacían en ella los datos surgidos de las entrevistas. A partir de estas proposiciones se elaboran los correspondientes mapas representativos del contenido conceptual de cada entrevista, los cuales permiten tener una apreciación más integrada del conocimiento que se expresa en cada una de ellas. En el Anexo 5, las Figuras A5.1 a A5.10 muestran los mapas elaborados para las diez entrevistas. Antes de iniciar el análisis de los resultados propiamente dicho, se trabaja en la determinación de la riqueza conceptual de las entrevistas (Apartado 5.2.1). Ello permite saber en qué medida las entrevistas pueden considerarse adecuadas al objetivo con el que fueron pensadas.

5.2.1 Comparación de la riqueza conceptual de las entrevistas

A partir de los mapas correspondientes a las entrevistas (Anexo 5) se calculan los índices de similitud de los diez mapas en relación con el mapa base, según se explica en el Capítulo 3, como una forma de comparar la riqueza conceptual de las mismas. En el Anexo 6 se presenta, a modo de ejemplo, la descripción del cálculo realizado para el mapa correspondiente a la entrevista N° 6.

La Tabla 5.3 presenta los índices calculados, para las diez entrevistas. Se consignan en la primera y segunda columnas, los conceptos y el número de mapas en las que aparece cada uno (NEC). En las diez columnas siguientes aparecen los valores de los índices (IC) para cada concepto en cada mapa, calculados de la forma como se indicaba antes. Hay que tener en cuenta aquí que el cálculo se realiza considerando que si la relación entre dos de los conceptos del mapa es alternativa no se la tiene en cuenta para el cómputo del número de proposiciones correspondiente. En esos casos, cuando la única proposición en relación con un concepto resulta alternativa, el valor cero en el casillero de la Tabla 5.3 se ha indicado en negrita.

CONCEPTOS	N _{EC}	IC _{MC1}	IC _{MC2}	IC _{MC3}	IC _{MC4}	IC _{MC5}	IC _{MC6}	IC _{MC7}	IC _{MC8}	IC _{MC9}	IC _{MC10}
EQUILIBRIO DINÁMICO	10	0.60	0.36	0.56	0.50	0.54	0.45	0.44	0.56	0.30	0.60
SUSTANCIAS INTERVINIENTES (SI)	10	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
DOBLE FLECHA	10	1	0.50	1	0.50	1	0.50	0.50	1	0.50	1
DOS PROCESOS SIMULTÁNEOS	9	0.33	0.33	0.67	0.75	0.33	0.50	1	0	0.50	0.33
SISTEMA CERRADO	8	0.33	0	0.67	0.33	0.33	0.33	0.33	0	0.33	0.33
CAMBIO REVERSIBLE/ CAMBIO	8	0.17	0	1	0	0.17	0.17	0.28	0.40	0.20	0.40
REACCIÓN QUÍMICA	8	0	0.33	1	0	0.33	0.33	0.50	1	0.50	0.50
RELACIÓN ESTEQUIOMETRICA	7	0.67	0.50	1	0	0.33	0.33	1	0	0	0
NÚMERO DE MOLES DE SI	6	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
TEMPERATURA	6	1	0	0.50	0.5	1	0.50	0	1	0	0
Keq	4	0.50	0	0.25	0	0.50	0	0	0.50	0	0
CONCENTRACIÓN DE SI	3	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
CONC. de FASE CONDENSADA	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MASA de FASE CONDENSADA	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V1 = V2	3	0	0	0	0.5	0	0	1	0	0	0.50
INDICE DE SIMILITUD (IMC)		0.41	0.23	0.61	0.24	0.40	0.24	0.44	0.40	0.19	0.28
N _{MCX}		10	7	13	9	14	9	10	9	8	8

N_{EC}: Número de mapas en los que aparece el concepto. N_{MCX}: número de conceptos presentes en cada mapa. IC_{MCx} índices para cada concepto en un mapa. IMC: índice de similitud de cada mapa.

Los ceros en negrita corresponden a los surgidos cuando la única proposición que involucra a un concepto, es alternativa.

Tabla 5.3. Valores de los indicadores de similitud para cada una de las diez entrevistas

En las dos últimas filas de la tabla se presentan el (IMC) y el número de conceptos, presentes en cada mapa (N_{MCX}). Sobre la base de ambos valores, se puede analizar en qué medida cada mapa representativo de una entrevista, se parece al usado para pensar las entrevistas. Esto se relaciona tanto con el aprendizaje del alumno como con el desempeño de la entrevistadora, sobre lo cual se hacen apreciaciones al final de este capítulo.

El número de conceptos identificados en cada una de las entrevistas varía entre 7 y 14, y el índice de similitud de los mapas en relación con el mapa base, varía entre 0,19 y 0,61. Ello parece dar cuenta de una diferencia considerable en la riqueza conceptual que encierran las entrevistas.

Los mapas más parecidos al mapa base, teniendo en cuenta el número de conceptos involucrados y los índices de similitud (entre 0.40 y 0.61), serían los correspondientes a las entrevistas N° 1, 3, 5, 7 y 8, las cuales podrían considerarse aceptables en relación con el conocimiento conceptual trabajado en ellas.

Por ejemplo, la N° 3 (índice de similitud: 0.61 y 13 conceptos que forman parte del mapa), podría considerarse una entrevista en la que se pone en juego una parte importante del conocimiento conceptual que se pretende indagar, pero además son pocas las proposiciones alternativas que aparecen. En cambio, si bien el mapa de la entrevista N° 5 incluye 14 conceptos, el índice calculado es considerablemente menor que el anterior. Ello implica que, se ha trabajado sobre una porción significativa del contenido previsto, pero aparecen proposiciones alternativas, lo cual se traduce en un menor índice de similitud. Si bien puede considerarse adecuada desde el punto de vista de la realización, parece mostrar poca comprensión de los aspectos relevantes del equilibrio químico, ya que es la que incluye mayor número de proposiciones alternativas.

Los conceptos *Equilibrio dinámico, sustancias intervinientes, dos procesos simultáneos, sistema cerrado, cambio reversible / cambio, reacción química, relación estequiométrica y temperatura*, están presentes en la mayoría de las entrevistas. Hay algunos conceptos que no aparecen en un número importante de entrevistas, como por ejemplo *igualdad de velocidades ($v_1=v_2$), K_{eq} , concentración de sustancias intervinientes*, así como, *concentración y masa de sustancias intervinientes*. Los dos últimos, si bien no son conceptos tan generales como los demás, habían sido incluidos en el mapa base para trabajar algunos aspectos que necesariamente resultan difíciles en el aprendizaje del equilibrio. Pero no se profundizó sobre ellos en las entrevistas dado que no habían sido bien trabajados durante la instrucción. Sólo surgieron en aquellos casos en los que los estudiantes decidieron introducirlos.

En los mapas MC2, MC9 y MC10, aparece el menor número de conceptos y, simultáneamente, los índices de similitud correspondientes reflejan poca coincidencia entre estos mapas y el base. Las entrevistas N° 2, 9 y 10 se consideran incompletas desde el punto de vista de la realización de las mismas, no obstante, se incluyen en el análisis global que se hace a continuación.

Si bien el índice de similitud resulta, básicamente, indicativo de en qué medida se ha trabajado el conocimiento conceptual en cada caso, es preciso analizarlo conjuntamente con otros datos que lo complementan. Por ejemplo, para MC6, el índice es similar a los anteriores (0.24), pero el mapa incluye nueve de los quince conceptos considerados en el cálculo. Lo propio ocurre con MC4, que incluye diez conceptos y el índice calculado es también de 0.24. Nótese que mapas

conteniendo diez conceptos, presentan un índice considerablemente mayor, lo cual estaría hablando de que MC4 corresponde a una entrevista en la que, si bien se dio oportunidad de poner en juego el conocimiento conceptual a que se pretende apuntar en ella, el entrevistado mostró poca comprensión del mismo.

5.2.2 Análisis del conocimiento conceptual puesto en juego en las entrevistas

En este apartado se presenta primero el análisis de las ideas que se trabajaron en las diez entrevistas, a través de la frecuencia con que aparecen las proposiciones en aquellas y se describe el uso que se hace, en general en las entrevistas, del modelo de materia. La comparación de los diez mapas elaborados permite además hacer algunas apreciaciones acerca de la integración del nuevo conocimiento en la estructura de los diez entrevistados. Todo lo anterior da un panorama de cuáles han sido las principales ideas puestas en juego en las entrevistas y cómo se trabajaron aquellas, qué ideas realmente parecen incorporadas a la estructura de conocimiento de la mayoría de los alumnos. Como una manera de profundizar en el análisis y teniendo en cuenta los resultados globales, se analiza el conocimiento conceptual puesto en juego en algunas de las entrevistas (N° 1, 3, 5, y 7), que corresponden a las más ricas desde el punto de vista conceptual.

Se desarrolla a continuación, para las diez entrevistas, el análisis de las ideas que se trabajaron, a través de la frecuencia con que aparecen las proposiciones en las mismas (Tabla 5.4).

En la primera columna de la Tabla 5.4 se han consignado las proposiciones del mapa base y algunas variantes de las mismas. Las proposiciones originales son similares a las que se definieron para el análisis de las clases y que se presentan en el Apartado 4.3.2: *Análisis del contenido conceptual puesto en juego en el desarrollo de las clases*.

PROPOSICIONES	f	ENTREVISTA N°									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sistema – Reacción química											
S1) Un sistema (en este caso cerrado) queda definido por determinadas sustancias intervinientes											
S2) En un sistema cerrado puede tener lugar un cambio reversible	1			X							
S3) Un cambio reversible puede ser una reacción química.	4			X					X	X	X
S4) El cambio reversible ocurre según la relación estequiométrica	2			X				X			
S4') El cambio (en dos sentidos opuestos) ocurre según la relación estequiométrica	3	X				X	X				
S5) Una reacción química puede alcanzar el equilibrio dinámico	3			X				X	X		
S5') Un equilibrio es una reacción química	3		X			X	X				
La relación estequiom. indica cuanto se forma o descompone		X	X	X				X			
Reacción química es unión de reactivos para dar un producto		X			X				X		
Reacción química no es equilibrio		X									
Equilibrio dinámico											
E1) Dos procesos simultáneos tienen lugar en un cambio reversible	2			X				X			
E1') Dos procesos simultáneos tienen lugar en un equilibrio dinámico	7	X	X		X	X	X			X	X
E2) Los dos procesos simultáneos pueden alcanzar $v1=v2$	2							X			
E3) Un cambio reversible puede dar lugar a un equilibrio dinámico	3			X					X		X
E4) El equilibrio dinámico se alcanza cuando $v1 = v2$	3				X			X			X
E5) En el equilibrio dinámico coexisten todas las sustancias intervinientes (SI)	10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
E6) La relación estequiométrica no determina el número de moles de sustancias intervinientes presentes	4	X	X	X				X			
E7) El equilibrio dinámico se puede alcanzar en un sistema cerrado	8	X		X	X	X	X	X		X	X
E8) El equilibrio dinámico se da cuando es constante la temperatura ó El equilibrio dinámico cambia cuando cambia la temperatura	6	X		X	X	X	X		X		
E9) El equilibrio dinámico está caracterizado por la constante de equilibrio	1	X									
E6 _{altern.}) La relación estequiométrica determina el número de moles de sustancias intervinientes presentes	2				X	X					
El equilibrio se alcanza desde cualquier composición inicial del sistema											
En el equilibrio los reactivos no desaparecen totalmente						X	X	X		X	X
Equilibrio – Constante (keq) – Concentración											
C1) La constante de equilibrio varía con la temperatura	3	X				X			X		
C2) La constante de equilibrio es una relación entre las concentraciones de sustancias intervinientes	3			X		X			X		
C3) La concentración de una fase condensada no interviene en la constante de equilibrio	0										
C4) El equilibrio dinámico no varía al variar la masa de fase condensada	0										
C3 _{altern.}) La concentración de una fase condensada interviene en la constante de equilibrio	3			X		X			X		
C4 _{altern.}) El equilibrio dinámico no varía al variar la masa de fase condensada	2					X				X	
En el equilibrio no varían las concentraciones de las SI											X
Si aumento los productos, la constante va a aumentar						X					
Representación											
R) \rightleftharpoons significa sistema en equilibrio dinámico	7	X	X	X		X			X		X
R') \rightleftharpoons significa dos procesos simultáneos	4			X	X		X			X	
R'') \rightleftharpoons significa $v1 = v2$	1							X			
\rightleftharpoons es como un ciclo		X	X								

Tabla 5.4. Detalle de proposiciones y otras ideas relevantes, presentes en las diez entrevistas

Cada proposición aparece en la tabla, precedida por una letra y un número de referencia. Cuando una proposición es una variante de la inicialmente elaborada se lo indica en la referencia con un apóstrofe. Por ejemplo, E1' es una variante de la proposición original E1. Se diferencian también aquellas proposiciones alternativas a las científicas, surgidas durante las entrevistas, indicando esta condición en la referencia correspondiente de la siguiente manera: la proposición C4 alternativa aparece en la tabla como C4_{altern.}. Se incluyen también en la tabla, algunas ideas que surgen del análisis de las transcripciones y que se consideran relevantes. En este caso, aparecen en la tabla sin una referencia alfanumérica.

Como puede observarse, las proposiciones se encuentran agrupadas, igual que para el análisis de las clases en el capítulo anterior, en: proposiciones que se relacionan con el sistema fisicoquímico (tipo S), proposiciones que se refieren al sistema fisicoquímico en equilibrio dinámico (tipo E) y proposiciones que muestran algunas de las relaciones posibles entre K_{eq} y concentración y masa en moles de sustancias que intervienen (tipo C). Las que involucran la interpretación de lo que representa la ecuación química se ubican entre las tipo R.

A continuación se da una breve explicación de las proposiciones que surgen como variantes de las originales:

- La proposición S4': *El cambio (en dos sentidos opuestos) ocurre según la relación estequiométrica*, es una variante de S4 que surge en algunas entrevistas en las que no es posible asegurar que el entrevistado se refiere a un cambio reversible, cuando menciona la existencia de dos procesos que ocurren en sentidos opuestos.
- La proposición S5': *Un equilibrio es una reacción química*: trata de interpretar aquellos casos en los que los entrevistados consideran una reacción de equilibrio como un tipo de reacción química, en lugar de concebir el equilibrio como un estado posible de un sistema de reacción química.
- La proposición E1': *Dos procesos simultáneos* tienen lugar en un *equilibrio dinámico* aparece muy frecuentemente en lugar de *Dos procesos simultáneos* tienen lugar en un *cambio reversible*.
- Las proposiciones R' y R'': denotan significados parciales dados a lo representado por la ecuación, que podrían ser indicativos de, por ejemplo, lo que el entrevistado considera más relevante de la idea de sistema en equilibrio dinámico que ha desarrollado.

Las ideas adicionales que se han consignado al final de cada parte de la tabla, se explican a continuación:

- Las tres ideas adicionales que se incluyen en la tabla, en la zona correspondiente a Sistema / Reacción química, muestran aspectos de la concepción de reacción química que interesan particularmente, dado que complementan el significado del concepto que puede extraerse a partir de las proposiciones tipo S y de sus relaciones.
- Al final del grupo de proposiciones correspondientes a Equilibrio dinámico, se consigna una idea que se ha encontrado en la mitad de las entrevistas: *En el equilibrio los reactivos no desaparecen totalmente*, que resulta interesante dado que complementa la proposición E5, pero además puede dar indicios de la concepción de reacción química que se halla presente.
- En el grupo de proposiciones tipo C, se incluyen dos ideas que si bien surgen en una sola entrevista cada una, puede ser interesante analizarlas porque podrían representar ideas alternativas que no se tuvieron en cuenta como posibles, cuando se pensó la realización de las entrevistas.
 - *En el equilibrio no varían las concentraciones de las SI*
 - *Si aumento los productos, la constante va a aumentar*

Una mirada general a la Tabla 5.4 permite ver que las proposiciones dedicadas a la conceptualización del sistema y/o la reacción química (tipo S), aparecen raramente en las entrevistas, excepto en la N° 3. Entre las proposiciones de este tipo, S4 y S4', a partir de las cuales es posible rescatar una parte importante del significado de relación estequiométrica, están presentes, entre las dos, en la mitad de las entrevistas (N° 1, 3, 5, 6 y 7). En tres de ellas (N° 1, 3 y 7), el significado se completa, desde el punto de vista macroscópico, con: *La relación estequiométrica indica cuanto se forma o descompone*. Es decir, en estos últimos tres casos, se podrían considerar presentes las dos concepciones de relación estequiométrica: relación que indica cómo ocurre el proceso (a nivel microscópico) y que da información acerca de cuanto se forma o descompone (a nivel macroscópico). No obstante, S4 y S4' no estarían siendo pensadas por todos los entrevistados en términos microscópicos de cómo ocurre el proceso, sino en términos macro, de ocurrencia de las reacciones en un sentido y en otro. Cuando se analiza en este mismo apartado el uso del modelo de materia, se vuelve sobre este particular.

También S5 y S5' aparecen en tres entrevistas cada una. Se trata de dos ideas aparentemente similares pero que se considera conllevan diferencias importantes, en tanto una de ellas (S5') estaría denotando la interpretación del equilibrio como un tipo especial de reacción química (entrevistas N 2, 5 y 6), mientras que la otra (S5) estaría mostrando que se reconoce el de equilibrio, como un estado posible del sistema de reacción química (entrevistas N 3, 7 y 8). Las ideas adicionales que aparecen entre las proposiciones tipo S, se relacionan con una concepción de reacción química muy vinculada a la formación de producto. Ello hace pensar en la existencia, en la mayoría de las entrevistas, de una fuerte idea de reacción química en este sentido.

Entre las proposiciones tipo E, esto es, las que se refieren al sistema en equilibrio dinámico, la E5: En el *equilibrio dinámico* coexisten todas las *sustancias intervinientes*, es la única que se rescata en las diez entrevistas. Esto implica que los estudiantes conciben la mezcla en equilibrio como una sola, idea que es el punto de partida para el análisis del comportamiento del sistema en equilibrio. Se trata de uno de los pilares básicos para la comprensión del comportamiento de los sistemas en equilibrio.

Además, en la mitad de los casos (N° 5, 6, 7, 9 y 10) aparece también la idea adicional: *En el equilibrio los reactivos no desaparecen totalmente*, lo cual refuerza la idea de la coexistencia de todas las especies, pero también podría estar mostrando una fuerte influencia de la concepción de reacción química como *unión de reactivos para dar un producto*, que aparecería aquí bajo otra forma, diferente a la encontrada en las entrevistas N° 1 y 4, de las cuales la citada idea adicional se ha rescatado de manera explícita. La idea de que en la reacción química los reactivos se transforman en productos, está muy arraigada, pero en estos cinco casos se habría aceptado que en el sistema en equilibrio hay coexistencia de reactivos y productos, lo cual podría estar mostrando que han integrado a lo anterior la idea de que continuamente ocurren dos reacciones opuestas en el equilibrio. Pero también podría vincularse con que conciben el equilibrio como el estado que se alcanza cuando la reacción directa se detiene, y el sistema en equilibrio como aquel en el que los reactivos, que no continúan reaccionando, quedan en exceso.

Para profundizar este análisis es interesante relacionarlo con la concepción de reacción química que está presente en cada uno de los casos citados. Esto se analiza más adelante cuando se desarrollan los casos en particular.

La proposición E5 también se complementa con la proposición E6, en cuatro de las entrevistas (N° 1, 2, 3 y 7). E6 involucra otra de las ideas importantes que se pretende trabajar con la propuesta, teniendo en cuenta que es frecuente que en el aprendizaje del Equilibrio Químico, se asocie la cantidad de cada una de las sustancias que hay presentes en el sistema en equilibrio, a la estequiometría de la reacción. Es habitual, como se ha discutido en el Capítulo 2, que los alumnos desarrollen una idea de reacción química muy asociada a la de ecuación química, particularmente a la de estequiometría, que parece ser la responsable de esta y otras dificultades de aprendizaje en Química.

Si se analiza el contexto en el que surgen estas proposiciones (E5 y E6), se ve que, tres de los cuatro entrevistados antes citados (N° 1, 2 y 3), realizan representaciones moleculares de los recipientes de reacción, con moléculas de las distintas especies intervinientes diferenciadas por su forma, conteniendo un número de moléculas que no se identifica con la estequiometría. Podría pensarse que este tipo de representaciones resultan útiles a los estudiantes para interpretar. En la entrevista N° 7, si bien el entrevistado es capaz de interpretar adecuadamente representaciones moleculares que se le presentan, no puede elaborar las propias para un sistema en equilibrio dado.

La proposición E1', una variante de E1, en la que la ocurrencia de los dos procesos simultáneos se halla vinculada al concepto de equilibrio dinámico y no a la idea de cambio reversible, aparece en siete de las diez entrevistas. En varios de los casos, es la única referencia al aspecto dinámico del sistema. La proposición original E1 sólo aparece en las entrevistas N° 3 y 7, en las que se puede rescatar que se está pensando en los dos procesos simultáneos, en términos de reversibilidad. Pero, en general, los alumnos parecen haber aceptado que en el equilibrio ocurren dos procesos simultáneos, sin que ello necesariamente implique que lo vinculan al reconocimiento del proceso como reversible.

La proposición E8, en su redacción original: El *equilibrio dinámico* se da cuando es constante la *temperatura*, se ha modificado para incorporar también la idea de que la variación de temperatura produce perturbación del equilibrio, teniendo en cuenta que, a la hora de explicar e interpretar situaciones, resulta relevante expresar aquello que se relaciona con lo que se modifica (variación de temperatura – perturbación del equilibrio), con lo que cambia y no con

aquello que permanece inalterado (sistema en equilibrio - temperatura constante) (Pozo y otros, 1991). La proposición E8, se expresa ahora como: El *equilibrio dinámico* se da cuando es constante la *temperatura* o El *equilibrio dinámico* cambia cuando cambia la *temperatura*, considerándose ambas, formas válidas de formular lo que se pretendía inicialmente. Aparece en seis de las entrevistas. La proposición E7: El *equilibrio* se puede alcanzar en un *recipiente (sistema) cerrado*, aparece en ocho de las diez entrevistas. Aquí se ha colocado entre paréntesis el término *sistema* dado que todos los sistemas químicos analizados en las entrevistas incluyen alguna especie en estado gaseoso por lo cual para que no exista pérdida de masa, es necesario cerrar el recipiente, y podría ser esa situación lo que lleva a los estudiantes a tener en cuenta este aspecto, en el momento de describir los sistemas planteados.

Tanto la idea de que el equilibrio se da a temperatura constante, como la aceptación de la necesidad de trabajar con un sistema cerrado, son aspectos que habitualmente no se tienen en cuenta cuando se trata este tema en clase. En las entrevistas, la mitad de los alumnos mencionan las dos condiciones y otros cuatro hacen referencia a alguna de ellas, cuando describen las situaciones que se les presentan. En relación con esto, se han obtenido resultados similares en un trabajo anterior (Rocha y otros, 2000) de la autora de esta tesis. En el citado trabajo, se desarrolló una clase introductoria al tema Equilibrio Químico con dos grupos de alumnos. Uno trabajó de la forma en que lo hace habitualmente el responsable de la asignatura. El otro, con el mismo docente, participó en una parte de la propuesta didáctica objeto de estudio de esta tesis. Se encontró que los alumnos del primer grupo no consideran importante tener en cuenta las condiciones del sistema en equilibrio (temperatura constante y sistema cerrado) cuando analizan su comportamiento, mientras que los pertenecientes al otro grupo, sí.

Las dos proposiciones que involucran el concepto de igualdad de velocidades -E2 y E4- casi no aparecen en las entrevistas. Sólo Juan, Federico y Soledad (entrevistas N° 4, 7 y 10) hablan en términos de velocidades, aspecto éste que resulta central para la propuesta didáctica como fue diseñada. Podría pensarse que en las entrevistas en las que aparece $v_1=v_2$, sería posible encontrar elementos de la visión dinámica integrados en el significado de equilibrio dinámico. Esto se analiza con detalle más adelante en el Caso 4 (entrevista a Federico).

La proposición E9: El *equilibrio dinámico* está caracterizado por la *constante de equilibrio*, aparece en una sola entrevista. Se trata de la entrevista N° 1, para la cual se hace un análisis más detallado, posteriormente, en el Caso 1.

Son muy pocas las proposiciones que involucran los conceptos de constante de equilibrio y concentración (proposiciones tipo C), que aparecen en las entrevistas y la mayoría conllevan ideas alternativas, referidas a la incidencia de un cambio en la masa de fase condensada presente en el sistema y muy vinculadas entre sí. Las proposiciones: La *constante de equilibrio* varía con la *temperatura* (C1) y La *constante de equilibrio* es una relación entre las *concentraciones de sustancias intervinientes* (C2), aparecen en tres oportunidades cada una, en un total de cuatro entrevistas (N° 1, 3, 5 y 8). Por su parte, la proposición C3 se presenta de una forma alternativa (no se tiene en cuenta que la concentración de la fase condensada es constante), en todos los casos en los que se trabaja con un sistema heterogéneo y surge la constante como relación de concentraciones (N° 3, 5 y 8). Una idea alternativa asociada se encuentra también en las entrevistas N° 5 y 9. Se trata de que no se reconoce que una variación en la masa, de la fase condensada en el sistema, no afecta al equilibrio.

La representación de los sistemas mediante la ecuación con la doble flecha aparece en todas las entrevistas, pero en algunas de ellas se hace referencia a características particulares de lo que estaría representando la ecuación, así surgen R' y R". Estas proposiciones aparecen en cinco entrevistas, en cuatro de las cuales son la única referencia a lo que significa la ecuación química que se presenta. Podría pensarse que, en esos casos, el entrevistado se está refiriendo a la característica que le resulta más relevante de la idea de sistema en equilibrio dinámico. Es necesario aclarar aquí que se ha considerado que aparece la proposición R cuando el entrevistado habla del sistema representado dando más de una característica del equilibrio dinámico correspondiente.

Se analizan ahora, comparativamente, los mapas surgidos de las entrevistas. En la Figura 5.1 se muestra el mapa base, ya presentado en el Apartado 3.2.3, en el que las palabras de enlace han sido reemplazadas por códigos. Dichos códigos indican de qué proposición, de las que conforman la tabla base utilizada para el análisis de las entrevistas, se trata. Esta forma de representación del mapa resulta más cómoda para el trabajo que se pretende realizar aquí. En

dicho mapa, se han diferenciado mediante el color de línea, las proposiciones que podrían considerarse conforman cada uno de los tres aspectos del significado de equilibrio dinámico, comentados al inicio del Apartado 5.2. La diferenciación se ha hecho de la siguiente forma:

- Visión macro, externa al sistema: línea color rojo (E5, E6)
- Visión interna al sistema (no observable): línea color verde (E1, E2, E4, S4)
- Aspecto termodinámico: línea color azul (E9, C1, C2)

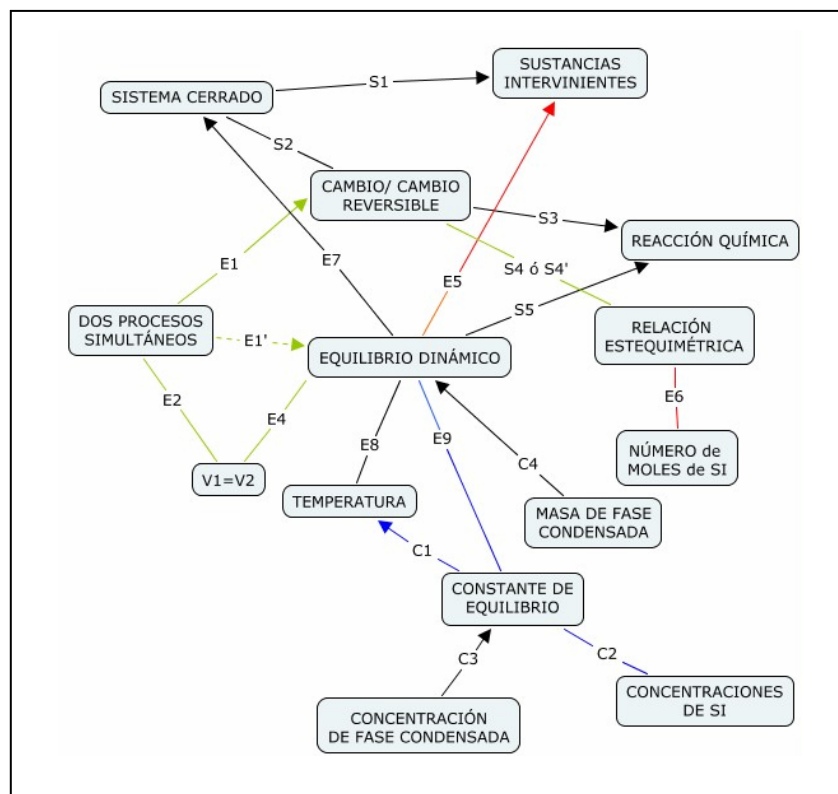


Figura 5.1. Mapa base

Se puede ver que en la mayoría de los mapas surgidos de las entrevistas (Anexo 5) aparecen elementos de las dos visiones del sistema químico en equilibrio: sistema que permanece sin alterarse (nivel macroscópico) y sistema en continuo cambio (dinamismo, no observable). La constante de equilibrio aparece en cuatro de las diez entrevistas (N° 1, 3, 5 y 8), en las cuales surge claramente la dependencia con la temperatura. De las entrevistas en las que aparece la constante de equilibrio, sólo en la N° 1, parece hallarse integrada al significado de equilibrio dinámico, de manera directa. En otros dos casos (MC5, MC8), es a través de la *temperatura* que la constante se relaciona con *equilibrio dinámico*. En el MC3, parece completamente dissociada del significado de equilibrio dinámico.

Si se consideran los mapas correspondientes a las entrevistas más ricas desde el punto de vista conceptual, esto es: MC1, MC3, MC5, MC7 y MC8, que se pueden encontrar en el Anexo 5, se aprecia una coincidencia interesante entre los mapas MC3 y MC7, como se muestra en la Figura 5.2, y entre MC1 y MC5 (Figura 5.3).

En la Figura 5.2 se presenta el MC3 sobre el cual se ha superpuesto (conceptos y códigos de enlace sobre fondo más oscuro) la parte del mapa MC7 que resulta común. Se puede apreciar que la porción que resulta común a ambos corresponde a las proposiciones vinculadas a la descripción del sistema y de la reacción química, como así también las referidas a la conceptualización del equilibrio.

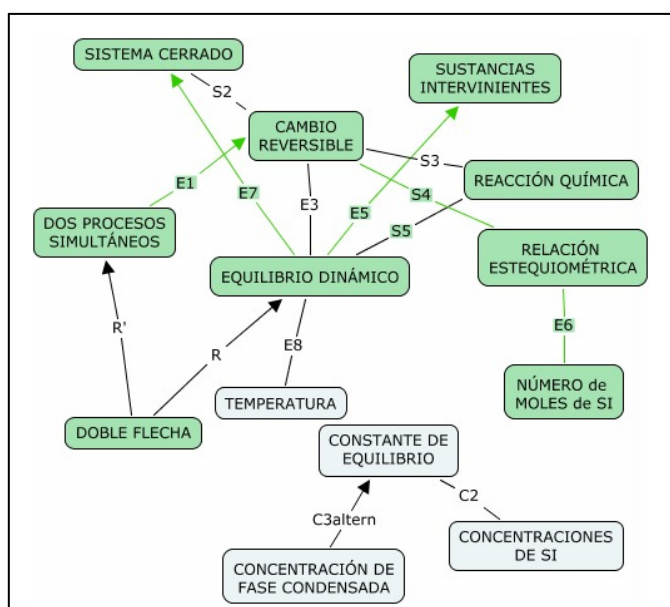


Figura 5.2. MC3 y coincidencias con MC7

Si se comparan ahora MC1 y MC5 (tomando como base MC1) también puede apreciarse, en la Figura 5.3, que una parte muy importante de la estructura resulta coincidente, a excepción de las proposiciones E6 y E9.

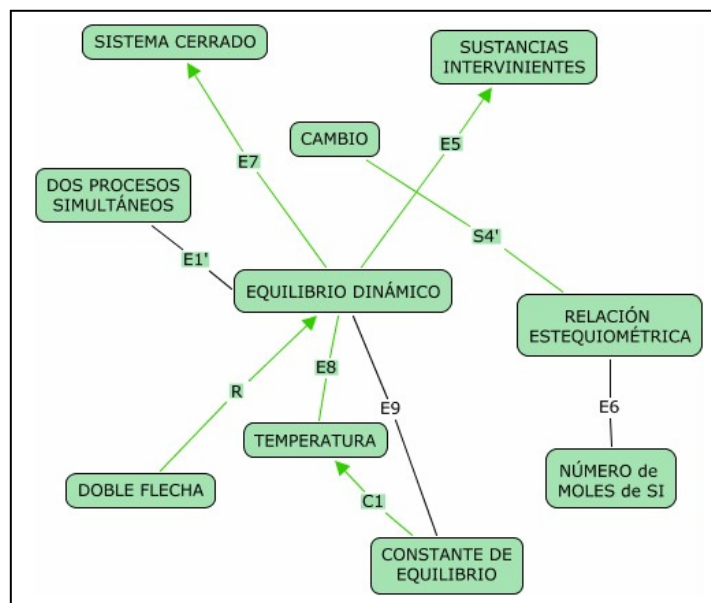


Figura 5.3. MC1 y coincidencias con MC5

En MC3 y MC7, el significado de equilibrio parece adecuadamente integrado en una estructura, junto con los conceptos de cambio reversible y reacción química. En MC1 y MC5, la estructura conceptual, se diferencia de la anterior, fundamentalmente porque aparece edificada alrededor del concepto de equilibrio dinámico, sin considerar cuestiones vinculadas al sistema y la reacción química. La ocurrencia de los dos procesos simultáneos está asociada al concepto de equilibrio dinámico y no al de cambio reversible.

Una parte de esta última estructura (Figura 5.4), se repite en seis de los casos (MC1, MC4, MC5, MC6, MC9 y MC10). Entre estas entrevistas aparecen varias de las más pobres desde el punto de vista del conocimiento conceptual puesto en juego. Parecería que esta podría ser la representación del conocimiento compartido, esto es, de los aspectos de lo trabajado en clase, que han resultado más relevantes a la mayoría de los estudiantes.

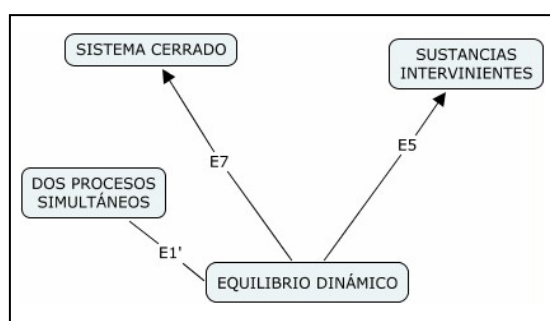


Figura 5.4. Porción de la estructura conceptual que resulta común a la mayoría de los mapas

El uso del modelo de materia en las entrevistas

Se puede apreciar, a partir de las transcripciones las entrevistas N° 1, 3 y 5 (Anexo 4) que los estudiantes utilizan adecuadamente las representaciones moleculares del sistema en equilibrio dinámico (recipiente con moléculas de las distintas especies intervinientes diferenciadas por su forma, en un número tal que no se identifica con la estequiometría) para mostrar la composición del sistema en el equilibrio. Además, cuando deciden cómo hacer la representación, hablan en términos microscópicos. En la entrevista N° 4 este tipo de representación se utiliza mal, ya que se elabora como si en el recipiente tuviese que haber una cantidad en moles de cada una de las especies, dada por la estequiometría de reacción, pero además, el entrevistado habla en términos macroscópicos cuando realiza la representación. En otros dos casos (N° 6 y 7) si bien los entrevistados son capaces de interpretar adecuadamente representaciones moleculares que se les presentan, no pueden elaborar las propias para un sistema en equilibrio dado.

En las entrevistas N° 8, 9 y 10 no se utiliza el modelo de materia. La entrevistada N° 10 dice no poder imaginarse una reacción ocurriendo a nivel molecular ya que sabe que se rompen enlaces y se forman nuevos pero no puedo entender por qué. Algo similar parece ocurrirle al estudiante N° 3. Esto estaría mostrando que los conocimientos que los estudiantes han adquirido previamente acerca del modelo de materia, no están conveniente integrados en su estructura. También es claro que no están habituados a utilizar modelos en sus explicaciones.

La entrevistada N° 1 es la única que intenta usar el modelo cinético - molecular. Lo hace para justificar lo que ocurre si cambia la temperatura y si varía la presión en un sistema en equilibrio (si aumenta la presión, las reacciones se producen más rápido porque las moléculas están más juntas). No logra una interpretación adecuada en el primer caso, porque no tiene en cuenta, cuando inicia la explicación, que en el mismo recipiente están todas las moléculas de las diferentes especies. Cuando se da cuenta de ello, interrumpe su interpretación quizá porque no posee una idea clara de probabilidad, choques eficaces, etc.

Análisis de cuatro casos

Los casos que se analizan aquí se han seleccionado teniendo en cuenta que son de las entrevistas más ricas desde el punto de vista del conocimiento conceptual que se pone en juego en ellas. Con el desarrollo de los cuatro casos se pretende ilustrar acerca de los principales resultados obtenidos y mostrar algunas particularidades del conocimiento puesto en juego por los estudiantes entrevistados.

Caso 1. Entrevista a María (N° 1)

María es una estudiante que está dando sus primeros pasos en la universidad durante el año lectivo en que se realiza esta investigación. Es Bachiller con orientación en Ciencias Sociales. En la prueba diagnóstico de Química, correspondiente al ingreso a la universidad, obtuvo calificación 7. Cuando se le pregunta en la entrevista si encuentra muchas diferencias entre la escuela secundaria y la universidad explica que, por ejemplo, no tuvo Química en su formación anterior. Sólo cursó una Físico - Química. Se trata de una asignatura en la que se ven contenidos básicos de Física y de Química, pero todo lo que ha visto en la Universidad hasta el momento, le ha resultado nuevo.

En la prueba previa al desarrollo del tema Equilibrio Químico, de la que responde la versión B, muestra que puede utilizar el modelo de materia para explicar y que también es capaz de interpretar las representaciones moleculares que se le presentan y justificar adecuadamente, si pudo haber ocurrido o no una reacción química. Cuando tiene que describir la información que le brindan dos ecuaciones de sendos procesos químicos, nombra el proceso que estaría ocurriendo en el caso de la reacción irreversible y describe macroscópicamente cuando se trata de la representación de la reacción reversible, teniendo en cuenta la estequiometría en la descripción, pero no la reversibilidad.

Durante la entrevista, los sistemas analizados son:



El índice de similitud calculado para este caso es de 0.4 y el mapa incluye 10 de los 15 conceptos esperados (Figura 5.5). Los números cercanos a los conectores indican las intervenciones en la transcripción de la entrevista, de la que surgen las proposiciones. En el mapa

aparecen componentes del significado de equilibrio correspondientes a la interpretación del mismo como un sistema que permanece (sistema cerrado, temperatura constante, coexistencia de sustancias intervinientes) y en el que ocurren dos procesos opuestos simultáneos (dinamismo).

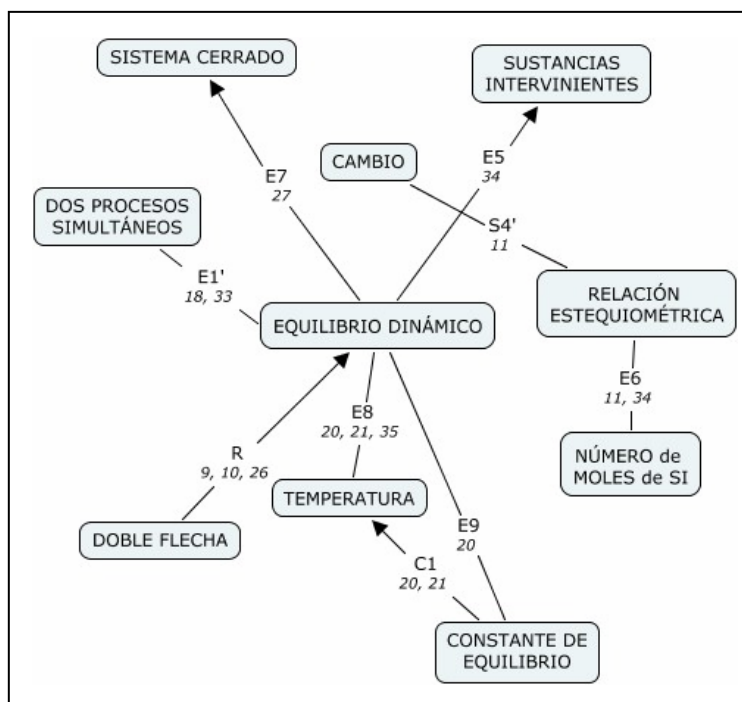


Figura 5.5. Mapa correspondiente a la entrevista N° 1

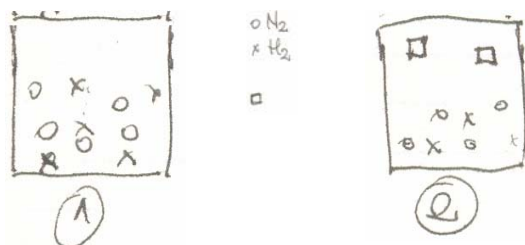
María interpreta el equilibrio químico desde una visión macroscópica, con algunos elementos de una visión dinámica, apoyada en el aspecto dinámico del modelo de materia, el cual todavía presenta para ella algunas dificultades que se comentan más adelante. Completa el significado que este concepto tiene para ella, la consideración de la constante como propia de ese estado del sistema, a una temperatura determinada. Como se ha dicho, es la única entrevista en la que puede rescatarse la proposición E9. María reconoce que la constante de equilibrio es característica del sistema a determinada temperatura. No obstante, no trabaja durante la entrevista con la expresión de K en función de las concentraciones, a pesar de que tiene oportunidad de hacerlo.

En varias ocasiones menciona que el sistema en equilibrio tiende a mantenerse. Con ello parece referirse a que el sistema tiende a “mantener” una cierta relación de “cantidades” de las diferentes sustancias que lo integran, pero en ningún momento se refiere a que lo que se

mantiene es una determinada relación de las concentraciones de especies que intervienen. Continuamente hace referencia a cantidades de sustancia y muy probablemente es la idea de K la que tiene en su cabeza en esos momentos, pero no lo expresa en esos términos. Aparece aquí como asociada, una de las dificultades que surge en casi todas las entrevistas: el uso del concepto de masa reemplazando al de concentración, de manera indiferenciada.

15. E: ¿Te animás a dibujar un recipiente en el que pudieses representar las moléculas.....?

A: Echo el N_2 y el H_2 y van a formar el NH_3 ... (mientras dibuja) Lo que te decía es que si yo necesito producir más amoníaco voy a ir sacando amoníaco porque así se sigue produciendo para mantener el equilibrio.



17. E: Me decís que primero tengo los dos gases: nitrógeno e hidrógeno.... obtengo amoníaco y voy a tener que irlo eliminando, ¿por qué?

A: Porque si lo dejo ahí adentro, el sistema va a tender a mantenerse. Si lo dejo, va a tender también a formar hidrógeno y nitrógeno. Hay un equilibrio constante que se mantiene. Si yo sé que se acaba el amoníaco, el equilibrio va a desplazarse hacia la derecha para mantener ese equilibrio constante.

El concepto de reacción química no aparece como tal en el mapa de la entrevista a María. La idea que estaría presente, se puede rescatar de expresiones que muestran que, reacción química, es la unión de reactivos para dar un producto. Además, si bien acepta que la relación estequiométrica da información sobre cómo ocurre el cambio, también surge la idea de que la estequiometría indica cuánto se forma o descompone en una reacción (ver Tabla 5.4), que ya aparecía en la prueba previa, cuando, al describir la información que conlleva para ella una ecuación química, se refiere a cuánto producto se forma a partir de determinada cantidad de reactivos. Parecería que María maneja un concepto de reacción química como desaparición de reactivos y aparición de productos, asociado a la ecuación y la estequiometría, que no aparece

como integrada en la estructura de conocimiento que surge de la entrevista, pero que necesariamente influye en el aprendizaje del equilibrio. El mapa correspondiente a esta entrevista es uno de los que presenta una estructura edificada alrededor del concepto de equilibrio dinámico. Podría pensarse que, si bien el nuevo conocimiento está integrado en sí mismo, formando una estructura, no se ha logrado todavía en este caso, que la estudiante se cuestione acerca de su idea de reacción química y la modifique en relación con el conocimiento nuevo adquirido.

Cuando analiza en la entrevista, lo que ocurre en el sistema $\text{N}_2 (\text{g}) + \text{H}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons \text{NH}_3 (\text{g})$, representa correctamente reconociendo que la relación estequiométrica da información acerca de cómo ocurre el proceso y no acerca de qué cantidad (en moles) de cada una de las sustancias intervinientes está presente en el equilibrio. En este caso representa molecularmente el sistema inicial y el sistema en el equilibrio, mostrando con ello aspectos tales como que las "cantidades en moles" de las diferentes sustancias que integran la mezcla gaseosa en el equilibrio, no están determinadas por la estequiometría.

Para analizar la influencia de los cambios en el sistema, se basa fundamentalmente en que el equilibrio cambia sólo si cambia la temperatura; esto es, si se altera la constante de equilibrio. Pero cuando se le pregunta qué significa que se modifique la constante, dice, con algunas dudas, que cambia la producción. Intenta utilizar el modelo corpuscular de la materia, en particular el aspecto dinámico del mismo, para explicar el comportamiento del sistema cuando varía la temperatura. Nótese que intenta razonar de forma análoga a como se ha hecho en clase para analizar el caso del sistema evaporación/condensación de agua.

E: Estoy tratando de relacionar con la temperatura y la constante...

A: Aumenta la temperatura, aumenta la energía cinética, los choques y eso va a producir más reacciones...

E: En un sistemita así como este como aplicarías lo de un aumento de temperatura?

A: Y, aumentaría la energía cinética de las moléculas de nitrógeno e hidrógeno y formarían más amoníaco...Mmm...no me convence mucho.

María es de los pocos estudiantes entrevistados que, en la prueba de lápiz y papel, previa a la instrucción, utiliza correctamente el modelo cinético - molecular en las explicaciones que se le pide realizar. En este caso le resulta más complejo usar el modelo y no logra una explicación

adecuada, no puede resolver completamente la situación, pero reconoce que existe algún problema en su manera de interpretar y lo manifiesta.

Más adelante, cuando se refiere al sistema heterogéneo, analiza lo que ocurre cuando cambia la temperatura simplemente en términos de más formación de productos porque la reacción directa es endotérmica. Algo similar ocurre en todas las entrevistas en las que se trabaja sobre esto.

Se puede apreciar también, que María no diferencia entre velocidad y extensión de la reacción. Presenta confusión entre ambos conceptos, a la hora de aplicarlos para interpretar el comportamiento del sistema de producción de amoníaco; es consciente de esta dificultad pero no la puede resolver.

21. E: *¿Qué implica que se altere la constante?*

A: *Que va a cambiar esta producción. Ya no va a ser como antes, va a cambiar el equilibrio.*

22. E: *Qué es lo que cambia?*

A: *No sé, según como sea la reacción, va a tener menos producción de nitrógeno o va a ser más lento o no se va a disociar tanto el amoníaco ...*

23. E: *Va a ser más lento ...*

A: *Dejalo, desgrabé esa parte....*

Parecería que María ha elaborado un significado de equilibrio dinámico integrando las tres visiones, pero aún no es capaz de interpretar el estado de equilibrio en términos de relación de concentraciones de especies intervinientes. Este es un caso en el que puede apreciarse que el modelo le sirve para representar "cantidades" presentes en un determinado momento en un sistema en equilibrio. Pero el modelo cinético - molecular, si bien ayuda a la interpretación del sistema, le resulta un escollo a la hora de imaginar su comportamiento frente a cambios. Quizá porque, además de que ello no resulta sencillo (y no fue debidamente aclarado), los estudiantes no han incorporado aún un modelo acabado, ni desarrollado la habilidad de aplicarlo adecuadamente.

Caso 2. Entrevista a Javier

Javier es Bachiller con orientación agropecuaria y este es su primer año en la Facultad de Ciencias Veterinarias, pero previamente cursó algunas asignaturas de ciencias en la Universidad de Mar del Plata, aunque no las aprobó. Obtuvo calificación 6 en la prueba de diagnóstico de Química en el ingreso. En la prueba previa correspondiente a esta investigación, de la que responde la versión B, muestra que puede utilizar un modelo de materia algo rudimentario, para explicar y que también es capaz de interpretar las representaciones moleculares que se le presentan como posibles "recipientes en los que ocurre reacción química" y justificar adecuadamente, usando un modelo, si pudo haber ocurrido o no reacción química en cada caso. Cuando tiene que describir la información que le brindan las dos ecuaciones de sendos procesos químicos, sólo nombra los procesos que estarían ocurriendo y parece no tener en cuenta que uno de ellos es reversible.

Cuando se le pregunta durante la entrevista acerca de cómo se plantea el estudio en la universidad, dice, en relación con Química, que necesita interpretar molecularmente lo que ocurre para entender y así aprender.

Es distinto para todas las materias. Biología es para estudiar, leer y entender y Química es para entender. Me imagino haciendo ejercicios y entendiendo lo que pasa molecularmente y ya lo puedo tener...

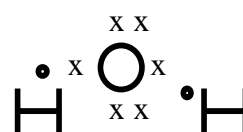
Química agarro el libro cuando hay una cosa que no entiendo pero con hacer los ejercicios ya me queda. Por ejemplo Sales me salió de haber hecho 500.000 sales y entender lo que pasaba molecularmente.

Surge durante su exposición una idea curiosa que luego reaparece, cuando explica cómo entiende la reacción de formación de agua y que podría estar mostrando una concepción alternativa acerca del modelo, y en particular de la aplicación del modelo de materia para interpretar reacciones químicas.

Una cosa que no se entiende en la secundaria es lo que pasa molecularmente. No sé si serán los profesores que no saben explicar o si seremos nosotros que no sabemos hacernos entender... nadie se imagina un átomo en el espacio entregando electrones y recibiendo electrones. Eso es lo difícil de entender de reacciones químicas y si no entendés eso arrastrás todo lo demás.

Más adelante, cuando la entrevistadora le pregunta cómo se imagina la reacción de producción de agua, que Javier había propuesto como ejemplo, aparece una idea acerca de cómo se forman enlaces en el caso del agua, que parece resultarle un escollo cuando intenta incluirla en el marco de un modelo más amplio, en el que lo que interesa es que los enlaces se forman y se rompen y no analizar cómo ocurre..... Dice lo siguiente, mientras representa la molécula de agua, intentando explicar cómo ocurre la reacción de formación de agua a partir de hidrógeno y oxígeno:

*Estos (xx) son pares de electrones, uno se comparte con el H, otro con el O.
El O tiene seis electrones en la última órbita y el H uno. Como cada elemento para llegar a ser estable se quiere parecer al gas noble más cercano que tiene 8 electrones en la última órbita...; y el H, el gas noble más cercano es el He, entonces comparten un electrón.*



Aquí parece existir una dificultad que podría interpretarse en términos de la “superposición de modelos” explicativos que el alumno posee y que no han sido suficiente y adecuadamente utilizados, durante la instrucción previa.

La entrevista a Javier (N° 3) es la más completa desde el punto de vista conceptual, si se considera que el índice de similitud con el mapa base es 0.61 y el mapa incluye 13 de los 15 conceptos que es deseable que aparezcan. Durante la entrevista el trabajo en relación al tema Equilibrio Químico estuvo centrado en el análisis de un único sistema:



El mapa correspondiente se muestra en la Figura 5.6. En él, los números cercanos a los conectores indican las intervenciones en la transcripción de la entrevista (Anexo 4), de la que surgen las proposiciones. Como se dijo previamente, se trata de la única entrevista en la que pueden reconocerse varias proposiciones tipo S, esto es, aquellas que permiten describir el sistema en estudio y su comportamiento en relación con el equilibrio dinámico.

En esta entrevista la reacción química es un tipo posible de cambio que se da en el sistema y es claro que una reacción reversible implica dos procesos opuestos simultáneos. Parece

interpretarse además, que dicho cambio ocurre, según la relación estequiométrica. Es interesante resaltar que esto último surge de expresiones de la entrevista en las cuales se habla en términos de moles y no de moléculas, átomos o iones, mostrando que si bien le da un significado adecuado a la estequiometría de reacción (como ocurre el proceso), probablemente no está pensando en términos microscópicos.

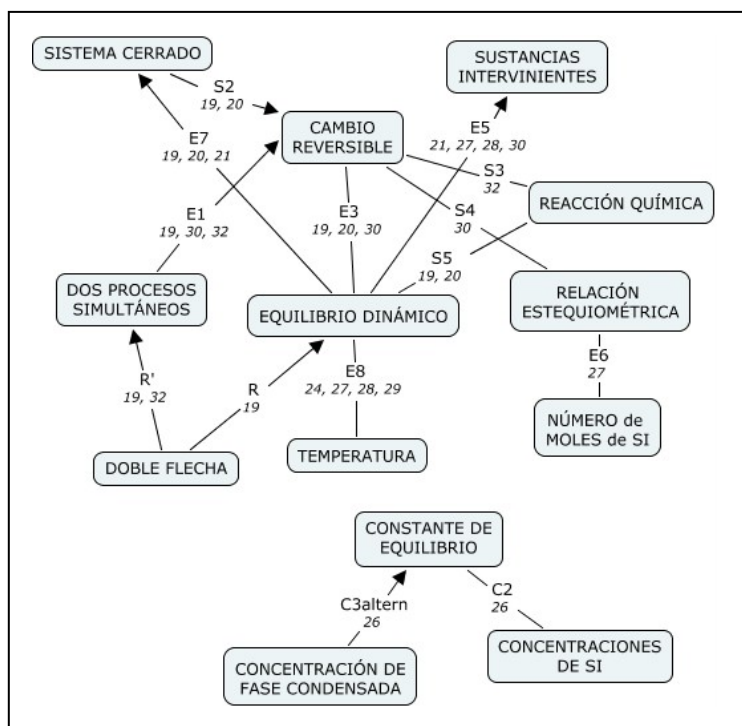


Figura 5.6. Mapa correspondiente a la entrevista N° 3 (MC3)

En tal sentido, aparece la idea de que el cambio reversible -que puede ser una reacción química- ocurre según la relación estequiométrica. Dicha reacción reversible, puede dar lugar a un equilibrio dinámico. Javier es uno de los dos entrevistados que maneja la idea de que una reacción química puede alcanzar el equilibrio, mostrando que concibe el equilibrio como un estado del sistema de reacción química.

E: ¿Como te imaginas una de estas representaciones en el tiempo (señalando representaciones moleculares del sistema que el alumno ha dibujado)? Suponé que armás este sistema en el laboratorio y lo tenés a temperatura constante, ¿que te imaginás que sucede? ¿Qué verías? (refiriéndose a la descomposición de cloruro de amonio, en un sistema cerrado).

A: Que un mol de este (refiriéndose al NH₃) se va a juntar con un mol de este (refiriéndose al HCl) para formar sólido y que un mol de sólido va a pasar a gaseoso, así continuamente. Un equilibrio dinámico sería... No es que esta el gas ahí y el sólido acá y los dos gases, se están combinando continuamente y se está descomponiendo el sólido continuamente.

Además, el entrevistado dice concretamente que la relación estequiométrica indica cuanto se forma o descompone (ver Tabla 5.4), mostrando así que la interpretación macroscópica de la relación estequiométrica, también está presente.

La idea de coexistencia de las sustancias intervinientes, se aprecia tanto en la representación a nivel molecular como en la que dibuja Javier para mostrar cómo sería un sistema de laboratorio. Esto surge cuando la entrevistadora le propone dos ecuaciones, una que representa un sistema de reacción irreversible y otra, el mismo sistema heterogéneo que ha alcanzado el equilibrio. Javier decide bien acerca de cómo conseguir realizar en el laboratorio uno y otro proceso. Hablando del sistema irreversible, dice que la relación estequiométrica le da información sobre las cantidades de productos que se forman a partir de determinada cantidad inicial (en moles) de reactivo. En la reversible, en el sistema cerrado, tiene claro que la relación estequiométrica no le da información sobre las "cantidades" en moles, de cada una de las especies presentes en el sistema. Ante la propuesta de intentar representar lo que estaría ocurriendo a nivel molecular con el sistema en equilibrio, Javier dibuja y dice lo siguiente:

Tengo una determinada cantidad de moléculas de cloruro de amonio sólido y una determinada cantidad de moléculas de gas, de un gas y del otro. La cantidad de cada uno depende de la temperatura y de la cantidad que yo haya puesto inicialmente. O sea, la relación que hay entre los tres no va a ser de 1 mol, 1 mol, 1 mol. Eso depende de la temperatura... que haya más cantidad de gas o de sólido (intervención 27).

Es interesante apreciar cómo es capaz de diferenciar la información que le da la relación estequiométrica en uno y otro caso (sistema irreversible y reversible). Pero cuando considera la influencia de la temperatura sobre la composición del sistema parece analizarlo en términos de masa y tener en cuenta sólo cuál de las reacciones (directa o inversa) se verá favorecida, como si se tratase de un sistema irreversible. Además, la constante de equilibrio, parece no ser percibida por Javier como un aspecto relevante del significado de Equilibrio Químico. Simplemente propone su expresión en términos de relación de concentraciones, cuando la

entrevistadora le solicita que la escriba, pero cuando elabora representaciones moleculares del sistema y explica acerca de su composición, lo hace hablando en términos de masas y no de concentraciones. Javier parece utilizar indistintamente número de moles y concentración, sin preocuparse demasiado por ello, lo cual lleva a pensar que no ha diferenciado aún convenientemente los conceptos de masa y concentración, y tampoco ha visto la necesidad de hacerlo.

Cuando representa molecularmente el sistema a dos temperaturas diferentes, si bien muestra la desaparición de NH_4Cl y la aparición de más moléculas de NH_3 y de HCl al aumentar la temperatura, no tiene en cuenta la estequiometría para decidir cuantas moléculas de cada especie incluir en la segunda representación, esto es, no tiene en cuenta en la representación, que la relación en que ocurre el cambio es 1:1:1 (intervención 28). Durante la entrevista elabora representaciones moleculares sólo a solicitud de la entrevistadora y no hace uso de un modelo dinámico para explicar aspectos del sistema en equilibrio.

En síntesis, Javier hace una buena interpretación del sistema de reacción que se le presenta para analizar. El significado de equilibrio parece adecuadamente integrado en una estructura, junto con los conceptos de cambio reversible y reacción química. Aparecen todos los elementos que conformarían el significado equilibrio dinámico desde los puntos de vista interno y externo al sistema. No obstante, parece que no considera relevante la idea de constante de equilibrio como propia del sistema, para interpretar el comportamiento de este, cuando cambia la temperatura. En su lugar, utiliza el mismo razonamiento, en términos de masa, que si se tratase de una reacción irreversible.

Aparentemente, el uso de representaciones moleculares para interpretar la composición del sistema en equilibrio y del modelo cinético para pensar el equilibrio, no le resultan útiles. Como ya se dijo, parece tener una confusión entre modelos que probablemente en su caso ha ido en contra de que pudiese apoyarse en ellos para interpretar aspectos del equilibrio químico.

Caso 3. Entrevista a Lorena

Lorena es una estudiante que terminó su educación secundaria hace dos años, cuando obtuvo su título de Bachiller en Ciencias Exactas. Empezó una carrera en la Universidad de Buenos Aires, de la cual cursó sólo la mitad del año. En ese tiempo, y en relación con Química, dice haber estudiado los mismos temas que en el secundario, pero más profundamente. Ahora todo lo que está estudiando le resulta nuevo. En la primera instancia de la prueba de diagnóstico de Química obtuvo una calificación de 1/10, mostrando que posee muy poco conocimiento en relación con esta asignatura. En la prueba previa, de la que responde la versión A, no utiliza el modelo de materia para explicar y no responde el ítem en el que se le pide interpretar las representaciones moleculares como posibles "recipientes en los que ocurre reacción química". Cuando tiene que describir la información que le brindan dos ecuaciones de sendos procesos químicos, lo hace en términos macroscópicos, teniendo en cuenta las relaciones estequiométricas entre las especies intervinientes, pero sin considerar que uno de ellos es reversible.

Durante la entrevista (N° 5), cuenta además que encuentra diferencias importantes entre la escuela secundaria y la universidad:

En el secundario no estudiábamos mucho, no sabíamos estudiar... no sabés cómo estudiar porque tenés un montón de cosas que tenés que aprender de memoria (pensás) o no sabés como estudiarlas o no te da el tiempo...

En la entrevista se trabajó sobre el sistema: $\text{NH}_4\text{Cl (s)} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \text{ (g)} + \text{HCl (g)}$

El índice de similitud para este caso es de 0.40 y el mapa correspondiente a la entrevista (Figura 5.7), si bien resulta uno de los que más conceptos incluye (14), contiene también el mayor número de proposiciones alternativas, todas vinculadas a los conceptos de cantidad de sustancia y de concentración. Se aprecia claramente la dificultad ya comentada que se ve también durante la instrucción: usa indistintamente los conceptos de concentración y cantidad de sustancia.

El significado de equilibrio dinámico que puede extraerse posee elementos de la visión macroscópica e incluye el dinamismo interno del sistema, a través de la consideración de la producción de dos procesos opuestos simultáneos. Incluye además la constante de equilibrio vinculada a través de su dependencia con la temperatura. Pero puede inferirse de la entrevista que Lorena no ha incorporado una idea adecuada de K ya que no puede decidir si lo que determina la composición del sistema es la constante o es esta la que queda determinada por la

composición. Podría pensarse que Lorena entiende la relación entre las concentraciones y la constante de equilibrio en términos matemáticos y no en términos de su significado químico.

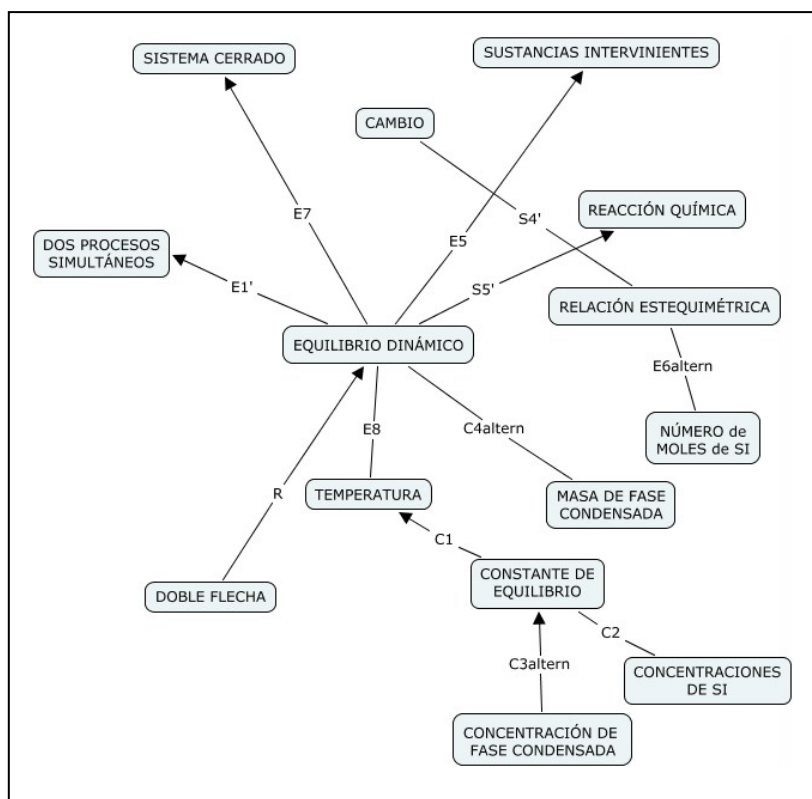


Figura 5.7 Mapa correspondiente a la entrevista N° 5 (MC5)

En el equilibrio los reactivos no desaparecen totalmente, refuerza la idea de la coexistencia de todas las especies, pero estaría mostrando una concepción de reacción química como reactivos que se transforman en productos que quizá se está utilizando aquí como el aspecto más relevante de la idea de reacción química, para interpretar el equilibrio químico.

Además, en la prueba previa, ante las representaciones mediante ecuaciones de los dos sistemas, uno reversible y el otro irreversible, Lorena describe macroscópicamente lo que representan, teniendo en cuenta que la estequiometría indica cuanto se forma o descompone, pero no la reversibilidad de uno de los procesos. Se podría considerar que, en el concepto de reacción química que posee Lorena antes de iniciar el estudio del equilibrio, tiene importante influencia la idea macroscópica de estequiometría de reacción. Lorena es uno de los tres alumnos que utilizan los coeficientes estequiométricos para decidir cuánto de cada especie hay presente en el recipiente de reacción. De la descripción que hace Lorena de lo que representa la

ecuación propuesta por la entrevistadora puede rescatarse la proposición: Un equilibrio dinámico es una *reacción química*. Todo lo anterior contribuye a pensar que en este caso, el equilibrio químico parece haber sido interpretado muy vinculado a la concepción de reacción química. Lorena parece superponer sus ideas anteriores sobre reacción química con el conocimiento nuevo sobre equilibrio químico, sin integrarlo convenientemente a la estructura conceptual.

Además, Lorena no parece muy habituada a trabajar con representaciones microscópicas de sistemas químicos. De hecho cuando se le presentan, en la prueba previa, para decidir y justificar si puede tratarse de representaciones de un mismo sistema de reacción, no responde el ítem. Durante la entrevista, cuando representa microscópicamente el sistema heterogéneo planteado, reconoce que en el equilibrio estarán presentes las tres especies que intervienen, pero tiene dudas respecto de la composición de la mezcla.

Caso 4. Entrevista a Federico

Federico es otro estudiante cuya formación anterior en Química, igual que en el caso de Lorena, parece bastante deficiente. Ha obtenido calificación 1/10 en la primera instancia de la prueba diagnóstico de Química realizada al ingresar a la Universidad. Posee título de Técnico Agropecuario. En la prueba previa, de la que responde la versión B, puede elegir la respuesta microscópica correcta para la primera de las situaciones que se le propone explicar usando el modelo cinéticomolecular, pero cuando explica la segunda situación lo hace macroscópicamente. Responde correctamente sobre cuáles de las representaciones moleculares que se le presentan pueden corresponder a "recipientes en los que ocurre reacción química", pero no lo justifica. No contesta el ítem en que se pide describir la información que le brindan dos ecuaciones de sendos procesos químicos. Cuando se le pregunta qué es lo que le ha resultado más difícil en Química, desde que inició la universidad, responde que Equilibrio Químico.

El mapa de la Figura 5.8, corresponde al contenido de la entrevista con Federico, posee un índice de similitud de 0.38 e incluye 10 conceptos de los 15 esperados.

Los sistemas analizados son dos, el primero, uno a propuesta del estudiante, porque le resulta más sencillo, dado que es de los analizados en clase:



Del mapa, puede apreciarse una visión macroscópica de sistema químico en equilibrio dinámico apoyada en la idea de que en el sistema cerrado, que ha alcanzado el equilibrio (E7), coexisten todas las sustancias intervinientes (E5). El equilibrio dinámico se alcanza cuando se dan los dos procesos opuestos simultáneos a la misma velocidad (E2 y E4). En este caso, al igual que en la entrevista a Javier, el entrevistado está pensando cómo ocurre el proceso en términos de moles, esto es, en términos macroscópicos, y no en términos moleculares: *Un mol de pentacloruro de fósforo forma un mol de cloro y uno de tricloruro, y al revés. Simultáneamente, a la misma velocidad.*

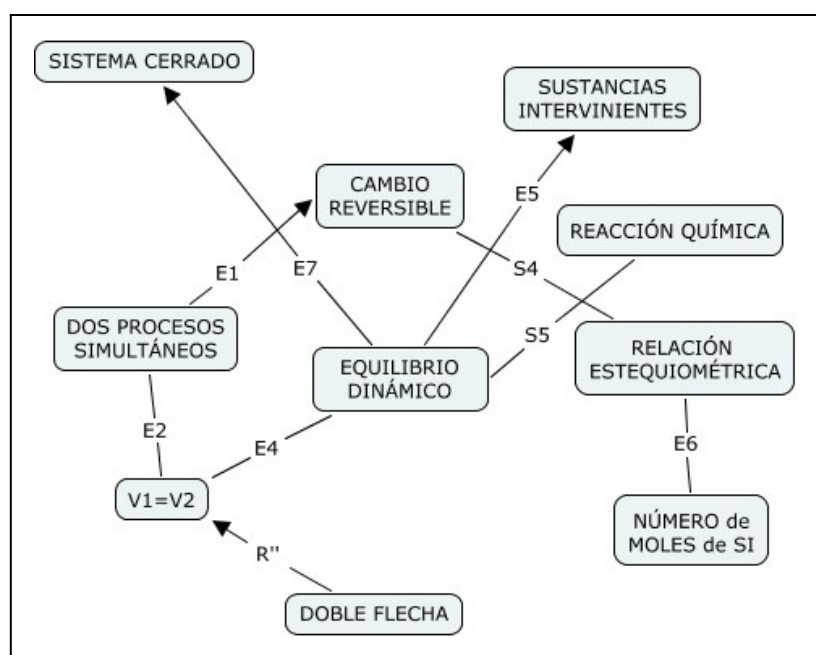


Figura 5.8. Mapa correspondiente a la entrevista N° 7 (MC7)

Se rescata un significado de equilibrio químico, como una integración de una componente dinámica, que es la que permite explicar que en el interior de un sistema, aparentemente estático, están continuamente ocurriendo modificaciones ligadas a la ocurrencia de dos procesos opuestos a igual velocidad. En esta entrevista no se hace referencia a la constante de equilibrio.

La idea de coexistencia de las especies en el recipiente está reforzada por la de que *En el equilibrio los reactivos no desaparecen totalmente*. Aquí, a diferencia del Caso 3, sí podría considerarse que esta afirmación tiene relación con que Federico piensa el sistema en términos de dos procesos opuestos que ocurren simultánea y continuamente y que son los responsables de que los reactivos no desaparezcan totalmente. Parece claro en este caso, que el estudiante ha integrado el significado de cambio reversible -como dos procesos simultáneos, que pueden ocurrir en un sistema de tipo químico-, el de reacción química y el de equilibrio dinámico; a través de la igualdad de velocidades de los procesos simultáneos. Además, esta es una de las tres entrevistas en que aparece la proposición: *Una reacción química puede alcanzar el equilibrio dinámico*, lo cual estaría mostrando que interpreta al equilibrio como un estado posible del sistema de reacción química.

Es claro también que, para Federico, la relación estequiométrica no determina la composición (en moles) del sistema en el equilibrio. Aparece explícitamente, la idea de que la relación estequiométrica indica cuanto se forma o descompone (ver Tabla 5.4). Ante una representación mediante ecuación y un dibujo que representa un sistema molecularmente, interpreta que podrían corresponder al mismo sistema y justifica correctamente, pero no puede utilizar estas representaciones para explicar por él mismo.

5.3 Algunas conclusiones surgidas del análisis de los resultados

Sobre el aprendizaje

1. Parecen predominar los aspectos ligados a la comprensión macroscópica del sistema en equilibrio. La proposición más representativa y frecuente de dicha concepción es: *En el equilibrio dinámico coexisten todas las sustancias intervinientes*. Los estudiantes conciben la mezcla en equilibrio como una sola, idea que es uno de los pilares básicos para la comprensión del comportamiento de los sistemas en equilibrio. La aceptación de esta idea, reduce la posibilidad de que los alumnos puedan pensar en términos de compartimentalización del sistema en equilibrio, dificultad muy frecuente en el aprendizaje de este tema, como se discutiera en el Capítulo 2.

2. En lo que respecta a la visión interna del sistema, la proposición más representativa parece ser: *Dos procesos opuestos simultáneos* ocurren en un *equilibrio dinámico*, que aparece en siete de las entrevistas analizadas. Esta proposición es la expresión del dinamismo del sistema, uno de los aspectos que se intenta destacar en el marco de la propuesta didáctica. El punto de vista denominado visión interna del sistema, aparece completo sólo en la entrevista N° 7 en la cual se vincula fuertemente a la idea de reversibilidad. En los demás casos, la idea de velocidades iguales no parece resultar relevante.
3. La visión interna, no surge, en las entrevistas, vinculada al uso del modelo de materia microscópico en las explicaciones. De hecho, sólo en dos entrevistas se apoya la afirmación: *Dos procesos opuestos simultáneos* ocurren en un *cambio reversible* (o en un *equilibrio dinámico*), en el uso de una representación molecular.
4. Surgen frecuentemente en las entrevistas, las condiciones que hacen que sea posible que el sistema alcance el equilibrio (sistema cerrado a temperatura constante). Los alumnos tienen en cuenta que para que sea posible el estudio del equilibrio dinámico, el sistema en cuestión debe ser un sistema cerrado, a temperatura constante.
5. La mayoría de las proposiciones tipo C resultan alternativas, lo cual implica que no han interpretado adecuadamente un aspecto central del equilibrio químico.
6. La mitad de los entrevistados hacen uso de una representación microscópica del sistema para describir su composición y se apoyan en el modelo para analizar la relación estequiométrica entre los componentes del sistema. Parece que a los alumnos les resulta útil trabajar en algún tipo de representación microscópica cuando se refieren a la composición del sistema y cómo esta cambia.
7. En la mayoría de las entrevistas aparecen elementos de las dos visiones: sistema que permanece sin alterarse (nivel macroscópico) y sistema en continuo cambio (dinamismo, no observable). La constante de equilibrio aparece en cinco de las diez entrevistas; en cuatro de las cuales surge claramente la dependencia con la temperatura. Sólo en la entrevista N° 1 se hace mención a que el equilibrio está caracterizado por la constante, esto es, se habría interpretado que la K es propia del sistema, a una temperatura determinada.
8. Una de las dificultades que surge en casi todas las entrevistas es el uso del concepto de masa reemplazando al de concentración, de manera indiferenciada.

9. En el momento de pensar qué ocurre con el sistema si cambia la masa de reactivo o si varía la temperatura, los estudiantes analizan en términos de que haya reactivo disponible o que la reacción directa sea endo o exotérmica. Trabajan con el sistema como si se tratase de analizar las dos reacciones por separado y lo piensan en términos de masas.
10. En varios de los casos, la idea de que en el equilibrio dinámico ocurren dos procesos simultáneos no se asocia a la reversibilidad de las reacciones. Parece que esta idea es aceptada porque se la vincula a la situación del sistema una vez alcanzado el equilibrio. Ello, debería ser tenido en cuenta durante la instrucción, para aprovecharlo de manera adecuada y conseguir que se de la posibilidad para que el estudiante amplíe su idea de reacción química.

Sobre el instrumento de toma y análisis de datos

11. Las entrevistas resultan dispares en cuanto a su riqueza conceptual, en parte porque no se ha dado suficiente oportunidad a que los estudiantes se expresen en relación con algunos de los conceptos sobre los que se desea trabajar. En tal sentido, por ejemplo, aparecen poco las proposiciones que describen el sistema de reacción y el cambio (tipo S).
12. Las proposiciones más trabajadas son las tipo E, esto es, aquellas dedicadas a dar significado al concepto de equilibrio dinámico. Entre estas últimas las más frecuentes son las que tienen que ver con la interpretación de lo que ocurre en términos de dos procesos opuestos simultáneos que se dan en un recipiente de reacción en el que coexisten todas las sustancias intervinientes.
13. Hay ideas que aparecen en la mayoría de las entrevistas y otras que se presentan sólo en algunas de ellas, tal es el caso de las tipo C. Casi no se trabaja en las entrevistas, cuestiones relacionadas con la constante de equilibrio y cómo esta se concibe en términos de concentraciones de las sustancias intervinientes.
14. Los conceptos *K_{eq}* y *concentración* aparecen muy poco en las entrevistas, como así también los de *concentración* y *masa de sustancias intervinientes*. Los dos últimos, porque no se da la oportunidad de que ello ocurra, dado que se trata de dos de los conceptos que ya durante el desarrollo de las clases no se trabajaron adecuadamente, por lo que la entrevistadora no insistió con ello en las entrevistas.

15. La idea de igualdad de velocidades ($v_1 = v_2$), que está relacionada con aspectos relevantes desde el punto de vista de la propuesta didáctica, aparece poco en las entrevistas y ello podría atribuirse a que los estudiantes no consideran que se trata de un aspecto relevante sobre el cual "hablar".
16. En las entrevistas los estudiantes hablan en términos de cantidades de sustancia, probablemente porque es muy fuerte la idea de reacción química vinculada a cuanto se forma o descompone, que han construido. Pero además, no se apuntó a que los estudiantes expresasen su idea acerca de la relación entre los conceptos de masa y de concentración.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA

En este capítulo se presenta la interpretación de lo ocurrido con el aprendizaje vinculándolo con las principales características de la puesta en aula de la propuesta didáctica sobre la enseñanza del Equilibrio Químico. Se analiza la relación entre el aprendizaje y desarrollo de las clases y se derivan las implicaciones que se considera pueden contribuir a la enseñanza del Equilibrio Químico y, de esta manera, completar y mejorar nuestra propuesta didáctica. El aporte que se realiza a partir de este trabajo apunta a dar respuesta, en parte, a las preguntas que se plantean al inicio de esta Memoria como algunas de las que han servido para orientar lo realizado. Entre ellas: ¿Qué origen tienen las principales dificultades que poseen los alumnos para el aprendizaje del equilibrio químico? y ¿Cómo debería pensarse la enseñanza integrada del tema Equilibrio Químico y de los conocimientos vinculados a él, en los niveles previos a la Universidad?

Ambas preguntas tienen respuestas muy relacionadas entre sí, que en el presente capítulo se irán respondiendo, a partir de lo realizado como trabajo de tesis.

6.1 Conclusiones

La vinculación entre enseñanza y aprendizaje

El desafío alrededor del que se inicia este trabajo, es el diseño de una propuesta didáctica introductoria al Equilibrio Químico, a partir de la que los estudiantes puedan elaborar un concepto de sistema en equilibrio dinámico que les permita continuar avanzando en el aprendizaje de los demás aspectos del tema.

Al comienzo de la presente memoria de tesis se señala la relevancia de este tipo de trabajos de diseño y análisis del aprendizaje, como así también, del papel de los estudiantes y del profesor en el proceso de enseñanza y de aprendizaje de las ciencias. Es necesario destacar además, que se trabaja con el convencimiento de que, la identificación de problemas en la enseñanza de las Ciencias y la búsqueda de soluciones, deben realizarse en el contexto del aula y requieren del trabajo conjunto de investigadores y docentes en ejercicio.

El marco general de esta tesis, podría sintetizarse como una situación en la que los estudiantes del grupo de clase y, en particular los diez entrevistados, tienen experiencias anteriores muy diversas en relación con el aprendizaje de la Química y formaciones también dispares. Se trata además, de un contexto educativo en el que el tiempo dedicado al tratamiento del tema particular objeto de estudio, es bastante escaso. Tampoco se dispone de tiempo suficiente antes y después de la intervención para llevar a cabo indagaciones extensas sobre las ideas de los estudiantes, ni para desarrollar intervenciones previas que les permitan familiarizarse con la metodología de trabajo. La identificación de dificultades e ideas de los estudiantes se realiza entre la prueba previa y el desarrollo de las clases y de las entrevistas y, si bien no resulta suficientemente extensa, permite evaluar aspectos relevantes de la interacción entre el conocimiento conceptual puesto en juego en la propuesta, y el aprendizaje conceptual, según va siendo elaborado por los estudiantes.

El docente es un profesor de Química que ha desarrollado este tema en el nivel de Química básica universitaria en la carrera Medicina Veterinaria durante los últimos quince años. Su experiencia en la enseñanza de este y otros temas centrales en Química como así también, su disposición para analizar y llevar adelante la propuesta diseñada especialmente, han sido fundamentales para el desarrollo del presente trabajo.

Luego de la implementación en el aula de la propuesta didáctica y del desarrollo de la estrategia de investigación, se han elaborado algunas conclusiones, que se presentan a continuación. Se intenta mostrar qué aspectos de la instrucción que se analiza, han resultado positivos desde el punto de vista del aprendizaje que promueven, y cuáles habría que ajustar o repensar.

Lo macro y lo micro, en el significado de equilibrio dinámico

En relación con el conocimiento y uso del modelo de materia, la prueba previa permite inferir que la mayoría de los estudiantes de este grupo no utilizan el modelo cinético - molecular o lo hacen de manera alternativa. Sus explicaciones son macroscópicas, a pesar de que se les pida explícitamente otro tipo de interpretación. Son muy pocos los que parecen activar un modelo, aunque algo incompleto, que utilizan para elaborar explicaciones microscópicas. Cuando se trabaja la composición del sistema en equilibrio desde el punto de vista molecular, una parte importante de los alumnos interpretan bien las representaciones, y otro grupo, también numeroso, no intenta dar respuesta a ninguno de los ejemplos del ítem correspondiente, revelando que no está habituado al uso de este tipo de representaciones.

En el trabajo en clase, el desarrollo de la actividad de introducción muestra una vez más que es muy heterogéneo el conocimiento de los estudiantes sobre el modelo y que, en general, no están familiarizados con él. Prefieren las explicaciones macroscópicas de los fenómenos. Cuando durante las actividades iniciales se trabaja el modelo, muchos no registran en sus hojas la discusión en gran grupo y se quedan con su primer interpretación de lo que ocurre. La pregunta sería si es que consideran que la interpretación con el modelo no aporta nada relevante frente a lo que ellos piensan. Las hojas de los estudiantes muestran que muchos han podido, después de las primeras actividades, elaborar explicaciones que incluyen el movimiento de las partículas como uno de los elementos del modelo, el cual en la prueba previa había resultado casi inexistente. En las actividades de la propuesta, se trabaja integrando la descripción macroscópica de los fenómenos planteados, con la interpretación microscópica, pero sólo algunos alumnos parecen considerar relevante este tipo de trabajo e irlo incorporando como parte de su aprendizaje.

Por lo que puede apreciarse a partir de las entrevistas, el aspecto del equilibrio que surge con más fuerza, es que los alumnos consideran la mezcla en equilibrio como una sola, lo que permite decir que han superado la dificultad detectada por muchas investigaciones, de pensar el sistema en equilibrio como formado por dos compartimentos separados entre los que va y viene. Durante la intervención, en más de una ocasión el docente utiliza la ecuación que representa los sistemas en equilibrio que se están estudiando, acompañada de la representación microscópica de lo que ocurre en el recipiente de reacción, para hacer hincapié en aspectos que desea resaltar, entre ellos, *que las especies intervinientes coexisten en un mismo recipiente*. Los otros aspectos que destaca conjuntamente son: *que la ecuación química dice cómo ocurren a nivel molecular los procesos y que la estequiometría de reacción no da información acerca de las cantidades de cada especie presentes en el recipiente*. El citado trabajo, realizado en las Actividades 2 y 3, resulta adecuado y quizá más significativo para los alumnos cuando se desarrolla la Actividad 3. En relación con lo anterior puede decirse que dos de los aspectos que han sido detectados como problemáticos en el estudio del aprendizaje del equilibrio químico, aparecen adecuadamente interpretados en la mayoría de las entrevistas. Pero puede apreciarse que, en general, los alumnos entrevistados muestran una comprensión de lo anterior, muy ligada a la concepción macroscópica del sistema en equilibrio.

En general, el modelo de materia es usado por los estudiantes, cuando tienen que representar cantidades de las diferentes sustancias intervinientes presentes en el sistema. Parece que les resulta útil trabajar con algún tipo de representación microscópica cuando se refieren a la composición del sistema y cómo esta cambia. El modelo los ayudaría a interpretar, pero luego no lo pueden utilizar para elaborar sus propias explicaciones.

Una idea que durante el desarrollo de la propuesta, se trabaja desde el punto de vista microscópico, es la de los dos procesos simultáneos ocurriendo a la misma velocidad. Es en la primera parte de la intervención, cuando se analiza el caso del sistema evaporación / condensación de agua, pero no se retoma luego para analizar el comportamiento de los sistemas en las otras actividades. Por ejemplo, en la Actividad 3 se usa la idea de sistema en equilibrio dinámico antes elaborada, para interpretar la coloración del sistema al inicio, pero cuando se analiza lo que ocurre ante un cambio de temperatura no se usa la idea de que los dos procesos tienen lugar, aunque en un determinado momento ocurre uno más rápidamente que otro,

haciendo que el sistema se desplace. Luego se restablece el equilibrio, esto es, las velocidades de ambos procesos vuelven a ser las mismas. Esto podría haberse aprovechado para trabajar sobre la idea de extensión de la reacción. El desarrollo de este aspecto, de manera más detallada y haciendo uso del modelo, en el marco de las Actividades 3 y 4, podría haber sido un buen momento para integrar mejor la interpretación microscópica del sistema con el concepto de reacción química y de reversibilidad y abrirse hacia el tratamiento futuro del significado termodinámico de dicho concepto.

Algunos estudiantes han integrado parcialmente lo nuevo en sus estructuras cognitivas, pero desvinculado de su concepción de reacción química. Otros lo han integrado con la idea de reacción química según la cual, los reactivos se transforman en productos y la ecuación química da información sobre cuánto se forma y descompone, que es la que predomina entre estos estudiantes. Además, la información que da la ecuación se centra básicamente en cuáles son las sustancias que intervienen y aparece muy presente la idea de que la reacción progresa sólo de izquierda a derecha, según se representa por medio de la ecuación.

Surge de las entrevistas que en lo que respecta a la visión interna del sistema, uno de los aspectos que los estudiantes parecen considerar más relevante es el que se expresa por la proposición: *Dos procesos opuestos simultáneos* ocurren en un *equilibrio dinámico*; a pesar de que, aparentemente, el significado descriptivo de reversibilidad está presente en pocos estudiantes del grupo de clase. En concordancia con ello, la idea *En el equilibrio dinámico ocurren dos procesos simultáneos* no la estarían asociando a la reversibilidad de las reacciones, sino a la situación del sistema una vez alcanzado el equilibrio. En la mayoría de los casos, la idea de velocidades iguales nos e incluye en las interpretaciones.

La constante de equilibrio y el significado de equilibrio químico

La constante de equilibrio aparece poco integrada en el significado de equilibrio químico. Esto podría relacionarse con que, durante las Actividades 3 y 4, se trabaja demasiado rápidamente la idea de que se trata de una constante característica del sistema en equilibrio a determinada temperatura. De hecho, es uno de los aspectos centrales de la intervención que ha sido muy poco registrado por los alumnos en sus hojas. Las ideas tipo C, esto es, las que relacionan la

constante de equilibrio con la concentración de las especies intervinientes, no fueron suficientemente trabajadas durante las dos clases destinadas al desarrollo de la propuesta, y ello se traduce en las entrevistas. El trabajo sobre la constante de equilibrio en términos de concentraciones, representa una dificultad para los estudiantes que, probablemente, también tiene relación con la interpretación del concepto de concentración, el cual no parece suficientemente diferenciado del concepto de masa. En las entrevistas los estudiantes usan el concepto de masa en vez del de concentración, de manera indiferenciada; a lo cual, probablemente, contribuye la idea de reacción química muy vinculada a la de ecuación y por ende, a cuánto se forma o descompone en ella. Pero además, esto puede tener relación con que durante la instrucción no se hizo suficiente énfasis en utilizar adecuadamente ambos conceptos y distinguir entre ellos. Más aún, cuando se utilizan las representaciones moleculares para la interpretación de la composición del sistema en equilibrio, debería haberse hecho más hincapié en la relación con la concentración y con la constante de equilibrio.

Se insiste poco, durante la instrucción, en utilizar la constante de equilibrio para decidir acerca de lo que ocurre con el sistema cuando hay cambios, por ejemplo, en la temperatura. Cuando el docente analiza el comportamiento del sistema frente a la temperatura, lo hace en términos de “desplazamiento del sistema en el sentido de contrarrestar los efectos de la perturbación”, en lugar de pensar en términos de K y de ayudarse con el modelo para continuar desarrollando la idea de lo que se entiende por sistema en equilibrio dinámico. No parece claro para los estudiantes que en el estudio del equilibrio lo relevante es la relación de concentraciones expresada por la constante.

El docente, los alumnos y la forma de trabajo durante la aplicación de la propuesta didáctica

Durante una parte importante de la propuesta se trabaja recuperando las ideas de los alumnos, aunque en algunos momentos el docente modifica esta forma de trabajo, quizá a causa del escaso tiempo de que dispone, y la clase se transforma en expositiva, centrada en el discurso del profesor. El propio docente opina, finalizado el desarrollo de la propuesta en el aula, que sería necesario disponer de más tiempo para, entre otras cosas, desarrollar actividades que permitan que el alumno aplique lo aprendido e ir evaluando los conceptos que van integrando. Si

al escaso tiempo disponible se le suma lo numeroso del grupo de alumnos, ello confluente en que no haya demasiadas oportunidades de asegurar que los alumnos sean conscientes de las diferencias y similitudes entre sus ideas y las que se les proponen. No todos los estudiantes participan en las discusiones en gran grupo aunque, cuando trabajan en pequeño grupo, lo hacen muy entusiasmados y preocupados por encontrar la forma de interpretar cada cuestión de las que se plantean. Si bien el docente es consciente de la importancia de hacer explícito lo que se pretende y de que los alumnos también hagan explícito lo que están pensando, algunas veces parece tener en cuenta sólo aquellas ideas de los alumnos que contribuyen a la discusión, en el sentido en que él se ha propuesto trabajarlas. El cambio en las estructuras conceptuales, además de requerir tiempo, necesita el reconocimiento por parte del estudiante de que su estructura conceptual resulta limitada (Novak, 2002). En tal sentido también es necesario incorporar momentos de reestructuración del conocimiento en los que cada alumno individualmente haga su propia síntesis personal del mismo; por ejemplo, a través de la elaboración de mapas conceptuales.

En las dos últimas actividades, los alumnos registran más, mostrando que comienzan a valorar positivamente la forma de trabajo y a considerar la relevancia que tiene la utilización de conceptos y modelos para elaborar interpretaciones.

Proporcionar a los alumnos modelos con los cuales reinterpretar sus conocimientos implica un cierto conflicto conceptual, más difícil de percibir que el empírico (Pozo, 1996), que conlleva la necesidad de ayudarles a desarrollar la habilidad de usar estratégicamente el nuevo conocimiento, teniendo en cuenta para qué se va a usar en cada ocasión.

En algunos momentos de la intervención, el docente parece dejar de lado la propuesta y retomar lo que podría ser su forma de trabajo habitual. Se trata de las situaciones en las que -para analizar lo que ocurre con el sistema ante los cambios de temperatura, previo a introducir la constante de equilibrio- habla de agregar energía de un lado u otro de la ecuación química para decidir lo que ocurrirá. Ello puede reforzar la interpretación del equilibrio como si se tratase de dos compartimentos separados, dificultad detectada por muchos trabajos de investigación. El docente analiza el comportamiento del sistema ante cambios de temperatura valiéndose de la ecuación química y razonando en términos de desplazamiento, de una manera que parece ser la

que habitualmente utiliza para este tipo de situaciones, sin incorporar, como se propone en la secuencia de trabajo, la utilización de la idea de equilibrio, en términos del modelo de materia que han desarrollado.

En cambio -cuando aprovecha las representaciones de átomos, moléculas e iones presentes en el recipiente de reacción, para mostrar la coexistencia de todas las especies en el mismo -está trabajando desde lo microscópico, apuntando a que los alumnos conciban la mezcla en equilibrio como una sola y lo relacionen con la información dada por la ecuación química, según se propone, en pos de lograr un delicado equilibrio en el uso de los tres niveles de representación e interpretación.

Estudiantes provenientes de lugares diversos, con títulos correspondientes a diferentes modalidades de educación secundaria, parecen poseer dificultades semejantes a la hora de aprender, que podrían considerarse vinculadas a sus conocimientos previos sobre conceptos relacionados. Esta es quizá la primera vez que se enfrentan a la resolución de este tipo de ejercicios, en los que se les pide explicar o describir. Habitualmente, en clase de Química, cuando se les presenta una fórmula tienen que designarla y cuando se les presenta una ecuación química tienen que realizar cálculos usando la relación estequiométrica. El tipo de propuestas, como las realizadas en esta tesis, requieren del estudiante formas diferentes de pensar y de hacer, que han de poner en práctica.

La base del éxito de cualquier implementación de propuestas en el aula, como la que se presenta en este trabajo, supone que los alumnos se impliquen en las discusiones, que sean conscientes de cuál es su idea acerca de sistema en equilibrio dinámico, que intenten aplicarla a resolver situaciones sencillas, que interpreten resultados, y que reconozcan las diferencias entre lo que están pensando y lo que están proponiendo otros estudiantes y el profesor. Un aspecto a profundizar consiste en explorar las relaciones existentes entre las ideas y llamar la atención sobre las diferencias y similitudes relevantes (reconciliación integradora), como así también, facilitar la transferencia de lo aprendido al análisis de otras situaciones similares.

En resumen, puede decirse que el problema de investigación -¿el trabajo en el aula con la propuesta didáctica especialmente diseñada sobre equilibrio químico, potencia el aprendizaje

conceptual del tema?-, y, en particular, los objetivos de aprendizaje planteados para la propuesta, se han cumplido en parte. Fundamentalmente en lo que a la construcción de un significado de sistema en equilibrio dinámico se refiere, puede apreciarse que los alumnos han incorporado componentes del comportamiento del sistema desde el punto de vista cinético macroscópico y sólo en parte las cuestiones vinculadas a la interpretación de la constante de equilibrio como propia del sistema a cada temperatura. Se considera que esta idea de sistema en equilibrio elaborada a nivel macroscópico, puede servir para continuar estudiando estos sistemas, haciendo uso del modelo microscópico, lo cual permitiría profundizar en el aprendizaje de dicho modelo. Van Driel (2002), en un trabajo con alumnos del primer año de educación secundaria en Química, en el cual realiza un análisis de lo que ocurre con la interpretación del equilibrio químico, utilizando el modelo de materia, encuentra también que la noción de sistema en equilibrio dinámico desarrollada a nivel macroscópico es bien aceptada por los alumnos, pero su interpretación microscópica presenta dificultades, las cuales se deben a que poseen un modelo microscópico poco acabado, que han de continuar construyendo a partir del uso para elaborar explicaciones .

Consideraciones sobre la forma de trabajo en esta investigación

Para la aplicación de la unidad didáctica, se diseñó una estrategia experimental en la que jugaron un papel importante las herramientas de toma y tratamiento de la información para el seguimiento del trabajo en el aula y para el análisis de la construcción del conocimiento. Dichas herramientas se caracterizan por haber sido elaboradas para la situación particular en la que se desarrolla la tesis. Se trabajó de forma tal que existiese una solución de compromiso entre la estrategia de recolección de datos y de tratamiento de la información, que permitiesen obtener resultados e inferir conclusiones valiosas en relación con los objetivos de la investigación y el desarrollo de la enseñanza en un ambiente en el que los estudiantes no se viesen demasiado influenciados por ellos. Cabe recordar que se trata de estudiantes que se están adaptando al ámbito universitario, por lo que se intenta evitar que sientan la toma de datos como instancias de evaluación. Fundamentalmente durante las entrevistas, se privilegió este objetivo, por lo que, en muchos momentos en los que hubiese sido necesario continuar indagando acerca de alguna dificultad en particular, para disponer de información más acabada, se desvió el curso de la entrevista, hacia otros aspectos. Además, los tiempos disponibles para ambas tareas, enseñar e

investigar, resultaron algo escasos, por la forma de organización de las actividades de la institución universitaria en la que se desarrolló esta investigación.

En particular haciendo referencia a la estrategia de análisis de la información de las entrevistas, es importante destacar que los mapas cognitivos elaborados a partir de ellas son una poderosa herramienta de representación para mostrar la interrelaciones en la estructura conceptual, como así también para visualizar similitudes y diferencias entre las estructuras de conocimiento que uno y otro estudiante ponen en juego. Desde otro punto de vista, permiten ver además, en qué aspectos de los que se desea indagar, se ha centrado más una entrevista que otra. Es pertinente aclarar aquí que, si bien podría considerarse que elaborar un mapa para pensar una entrevista y utilizar el mismo mapa para analizar los resultados, puede tener el inconveniente de que se vea sólo lo que se quiere ver, sin atender a otras ideas o aspectos que pudiesen surgir, se ha tenido especial cuidado en reconocer la aparición de dichas ideas y tenerlas en cuenta, en la elaboración del mapa cognitivo, cuando ello fue posible, o bien, en el análisis de los casos.

En relación con lo anterior, las entrevistas realizadas han mostrado su utilidad para poner en evidencia cómo los entrevistados piensan sobre determinados aspectos de los sistemas en estudio. Por ejemplo, cuando alguna de las estudiantes intenta utilizar el modelo de materia para explicar, pero lo hace de una manera no del todo apropiada, lo cual la lleva a decidir en forma inadecuada lo que ocurre con el comportamiento del sistema. Este aspecto no podría haber sido rescatado con un instrumento de lápiz y papel con el que se indagasen las concepciones de los alumnos al finalizar la instrucción. Conocer cómo razonan, muchas veces basados en premisas que no son las adecuadas, puede orientar a quien ha de pensar la enseñanza, para decidir cómo reorientar la propuesta de trabajo.



6.2 Implicaciones para la enseñanza

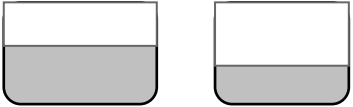
Con lo realizado y discutido hasta aquí, se retoma la cuestión: ¿Cómo debería pensarse la enseñanza integrada del Equilibrio Químico y de los conocimientos vinculados a él, en los niveles previos a la Universidad?. Esta pregunta, una de las que aparecen en el Capítulo 1 como origen de esta investigación, es la que, junto con los resultados obtenidos en esta tesis, guían el desarrollo del presente apartado.

Cuando el alumno se enfrenta por primera vez con el aprendizaje del tema Equilibrio Químico, confluyen un número y tipo de dificultades muy relevantes, muchas de las cuales tienen relación con la formación previa, más allá de las que son propias del tema particular. La idea de equilibrio químico tiene elevado nivel de abstracción en cuanto que no es perceptible ni está relacionada con la experiencia directa de los alumnos. Además, su enseñanza, requiere considerar a la vez muchos conceptos y sus relaciones (reacción química, ecuación química, reversibilidad y concentración), de forma tal que sean percibidos como una unidad e integrados de esta manera al conocimiento conceptual previo.

Si aceptamos que Equilibrio Químico es un tema tan complejo, parece central aceptar que es necesario que los estudiantes desarrollen una conceptualización adecuada del tema antes de pretender que resuelvan problemas, lo cual es una característica propia de la forma “habitual” de trabajar el tema. Si bien los profesores deberán hacer sus propias propuestas en función del contexto concreto en el que se desarrollan, este tipo de trabajo puede aportarles, además de la propuesta didáctica en sí, la posibilidad de repensar nuevos roles para ideas que hasta entonces consideraban no relevantes en la enseñanza de este tema o no relacionadas con el. Esta flexibilidad es una meta a conseguir por los que usan la filosofía del Proyecto AcAb anteriormente citado.

A continuación se presenta el tríptico para la propuesta (Figura 6.1), que se ha completado al incluir en él información acerca de algunos aspectos que, desde el punto de vista de la enseñanza, surgen a partir del trabajo realizado. En la columna central, se han consignado las ideas que proponen los alumnos a medida que desarrollan las actividades y sobre las cuales es preciso hacer que reflexionen para que integren lo nuevo a sus propias estructuras. En la tercera columna aparece de forma resumida lo conceptual, las principales ideas que el docente puede ir trabajando para enlazar su discurso con las observaciones y el discurso explicativo de los alumnos. Además, se indican algunos aspectos integradores con otros contextos y disciplinas y posibles aperturas de cada parte de la propuesta (Domínguez C. y Pro B., 2006).

ACTIVIDAD	ALUMNO	PROFESOR
<p>① Evaporación de agua en un recipiente abierto, a T ambiente</p>  <p>② Evaporación de agua en un recipiente cerrado, a T ambiente</p> 	<p><i>Evaporación ocurre a cualquier temperatura</i></p> <p><i>Las moléculas que se ubican en la superficie tienen uniones intermoleculares que se rompen más fácil, entonces son las que pasan al estado gaseoso.</i></p> <p>Interpretaciones alternativas????</p> <p><i>Evaporación y la condensación ocurren una a continuación de la otra ("ciclo"). Condensación se ve en las partes frías del vidrio.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Evaporación (modelo molecular) ✓ Energía de las moléculas → efecto refrigerante de la evaporación de un líquido sobre una superficie ✓ Velocidad de evaporación = f (T) ✓ Proceso endotérmico, $\Delta H_{vap} > 0$ → elevado; estructura dipolar del agua, enlace de hidrógeno ✓ Sistema cerrado. ✓ Macroscópicamente no se observan cambios. ✓ Si aceptamos el modelo cinético - molecular, no podemos pensar que quedó estático, o que los procesos ocurren como un ciclo, sino que hay evaporación y condensación simultáneas a igual velocidad (aplicación del modelo). ✓ Coexisten las dos fases en el recipiente. ✓ Presión de vapor (p_v).
<p>¿Que ocurre en el sistema que, a una dada T ha alcanzado el equilibrio, si se aumenta la T?</p>	<p><i>Hay más evaporación</i> <i>Aumenta la p_v</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumenta velocidad de ambos procesos, pero $v_{evap} > v_{cond}$ ⇒ aumenta la p_v hasta que se alcanza un nuevo equilibrio y por tanto, una p_v nueva ✓ $p_v = f(T)$ ✓ Tablas de $p_{vapor} \neq f(T)$ → Relación con ΔH y K. ✓ → ΔG, ΔH y ΔS

<p>¿Qué ocurriría si, en el sistema, a T constante, el volumen del recipiente, ocupado por el gas, se reduce a la mitad?</p>	<p><i>Hay más condensación porque son más los choques con la superficie del líquido y con las paredes del recipiente.</i></p> <p><i>El sistema se desplaza....</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mayor número de moléculas en el gas por unidad de volumen \Rightarrow presión del vapor mayor a la de equilibrio. ✓ Mayor número de choques \Rightarrow más condensación. Pero siguen ocurriendo ambos procesos (evaporación y condensación, en esta etapa, a diferentes velocidades) ✓ Cuando se restablece el equilibrio, evaporación y condensación, ocurren nuevamente a igual velocidad y la p_v recupera el valor correspondiente a esa temperatura. ✓ Diferenciación entre velocidad y extensión de la reacción
<p>Si la temperatura se mantiene constante y disminuyo la cantidad de agua líquida en el recipiente, ¿qué ocurre con la presión de vapor?</p> 	<p><i>En equilibrio a una T, la p_v será siempre la misma</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El número de moles de gas por unidad de volumen permanece constante, independientemente de la masa de agua líquida presente en el sistema. ✓ $p_v \neq f$ (masa agua) ✓ El sistema alcanza el mismo estado de equilibrio, caracterizado por p_v, independientemente de las condiciones iniciales ✓ Presentación de $\text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(g)$ e interpretación de su significado p_v
<p>¿Cómo explicaría que un charco se seque más rápido cuando hay viento?</p>		<ul style="list-style-type: none"> ✓ \rightarrow Sistema abierto en el que puede considerarse que, el agua de la superficie con el vapor con que está en contacto, pueden estudiarse como un sistema cerrado

<p>③ Dimerización del NO₂</p> <p>Se añade HNO₃ (ac) sobre alambre de cobre y se recoge en un tubo, el gas formado.</p>	<p><i>Formación de NO₂ (gas pardo, tóxico y más denso que el aire)</i></p> <p><i>Ocurren la dimerización y la descomposición en forma simultánea y a igual velocidad.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mezcla gaseosa en equilibrio: NO₂ / N₂O₄. ✓ NO₂: color café rojizo; N₂O₄: es incoloro → estructuras moleculares y color ✓ Aspecto energético de la dimerización - rotura y formación de enlaces nuevos → consideraciones termodinámicas ✓ Significado microscópico de ecuación: la información que puede obtenerse de ella tiene relación con cómo ocurre el proceso y no con las cantidades de sustancia involucradas
<p>El sistema NO₂(g)/N₂O₄(g), inicialmente a temperatura ambiente, se introduce en hielo y en agua caliente, sucesivamente.</p>	<p><i>La reacción de dimerización es exotérmica, entonces esta se favorece al disminuir la temperatura, el sistema se aclara porque hay más producción de dímero (y lo contrario)</i></p> <p><i>La ecuación química no da información sobre la composición del sistema en el equilibrio.</i></p> <p><i>A T constante, el sistema permanece invariable macroscópicamente, lo cual se aprecia por el color que se mantiene</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Representación molecular del sistema a diferentes temperaturas como ayuda a la interpretación de las observaciones. ✓ Reinterpretación de la información que da la ecuación química. ✓ Coloración del sistema en términos de determinada relación de concentraciones de los óxidos.. ✓ La relación de concentraciones de los óxidos presentes en el sistema es constante a cada T. Idea de constante (K) como relación de concentraciones
<p>Otro sistema homogéneo (por ejemplo formación de amoníaco)</p>		

<p>④ Descomposición del CaCO_3 en un horno de cal.</p> <p>$\text{CaCO}_3 (\text{s}) \rightarrow \text{CaO} (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g})$</p>	<p><i>CaCO₃ (componente principal de la piedra caliza) y CaO (cal viva: se carbonata fácilmente en presencia del CO₂ del aire): sólidos blancos</i></p>	
<p>Describir comparativamente el sistema anterior y el de descomposición del CaCO_3 en un sistema cerrado.</p> <p>$\text{CaCO}_3 (\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO} (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g})$</p>	<p><i>En $\text{CaCO}_3 (\text{s}) \rightarrow \text{CaO} (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g})$ el CO_2 que se forma se escapa</i></p> <p><i>En $\text{CaCO}_3 (\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO} (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g})$, ocurren los dos procesos simultáneos, continuamente a la misma velocidad</i></p>	
<p>Discutir, la incidencia que, sobre el estado de equilibrio tiene la presencia de cada una de las especies presentes.</p>	<p><i>A temperatura constante, la presión de vapor para el sistema en equilibrio $\text{H}_2\text{O}(\text{l})/\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ es una constante característica de dicho sistema.</i></p> <p>$p_v = K = n_{\text{gas}}/V_{\text{gas}}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ K resulta útil para discutir la idea de concentración (magnitud intensiva) que se comporta diferente a como lo hacen las magnitudes extensivas (por ejemplo la masa). ✓ n/V es constante para los sólidos puros $\Rightarrow K_p = p_{\text{CO}_2}$ ✓ Retomando el ejemplo del equilibrio: $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ✓ ¿Por qué no influye el agua líquida? Para el agua líquida n/V es constante. Concentración de especies puras en fase condensada.
<p>¿Cómo mejorar el rendimiento del proceso de elaboración de cal?</p>		

Figura 6.1. *AcAb Equilibrio Químico. Primera parte. Tríptico para el profesor*

Entre las aperturas, pueden contarse aquellas que se dan hacia otros temas como las que apuntan a la profundización del estudio del Equilibrio Químico, por ejemplo, pensando en diferentes niveles u orientaciones educativas. Las aperturas se indican en el tríptico, mediante una flecha (→).

Las Actividades 1 y 2 de la propuesta, están pensadas para que los estudiantes empiecen a desarrollar un significado de sistema en equilibrio dinámico, basado fundamentalmente, en consideraciones cinéticas macro y microscópicas. Un aspecto en el que se insiste durante el desarrollo de la Actividad 2, es: analizar los dos procesos que ocurren simultáneamente en términos de modelo cinético - molecular.

El modelo permite justificar que necesariamente ocurren los dos procesos (evaporación y condensación) de manera simultánea. Esta idea se debería utilizar en todas las actividades, vinculada a la descripción del comportamiento del sistema en equilibrio dinámico. Ello permitiría, en el marco de las Actividades 3 y 4, aprovechar la conceptualización del sistema en equilibrio dinámico, para integrarla con las de reacción química y reversibilidad que poseen los alumnos y ampliar así sus significados. Parece que la idea de reversibilidad podría ser bien aceptada por los estudiantes si se la vincula a la situación del sistema una vez alcanzado el equilibrio. Ello ampliaría la idea de reacción química, a través del desarrollo del concepto de equilibrio dinámico, por parte del alumno.

Como se ha mencionado antes, el modelo de partículas permite interpretar que el equilibrio se alcanza cuando se iguala el número de moléculas de agua que abandonan la fase líquida, con el número de moléculas de agua (gas) que chocan con la superficie del líquido. Este número de moléculas es proporcional a la presión de vapor y a n/V (concentración).

También partiendo de la teoría cinético – molecular se puede interpretar, de forma relativamente sencilla, el aumento de la presión de vapor con el aumento de temperatura y la obtención del estado de equilibrio caracterizado por un dado valor de la presión de vapor a cada temperatura. Los aspectos energéticos son igualmente asequibles desde un modelo de materia. La de agua es una molécula dipolar cuya estructura condiciona el enlace de hidrógeno, el cual no sólo conduce a una unión molécula – molécula muy fuerte, sino que contribuye a una ordenación del

agua en la fase líquida que es distintiva comparada con la de otros líquidos moleculares y muy significativa en relación con el desorden de la fase gaseosa.

Lo anterior puede justificarse termodinámicamente de manera bastante sencilla. En el proceso de evaporación de agua se consume mucha energía en la rotura de enlaces, lo cual se traduce en términos de un valor de ΔH positivo. No obstante el proceso es espontáneo (ΔG), lo que se interpreta por el elevado aumento del desorden al evaporarse el agua (ΔS), siendo: $\Delta G = \Delta H - T \Delta S$.

Es necesario señalar que el modelo cinético - molecular puede resultar muy útil para justificar el comportamiento del sistema aplicado al caso del agua -por ejemplo cuando aumenta la temperatura, y para dar significado a algunos otros conceptos, como el de K , concentración- y para elaborar un modelo de sistema en equilibrio dinámico, que después se utilice para analizar los sistemas más complejos. El sistema de evaporación - condensación de agua resulta significativo en cuanto es relativamente sencilla su interpretación microscópica, al igual que la justificación de algunos aspectos de su comportamiento, desde el punto de vista termodinámico. Esto conlleva que el mismo sistema pueda retomarse cuando se quiera introducir el estudio del equilibrio desde este otro punto de vista.

Continuando con el análisis del mismo sistema, al disminuir el volumen ocupado por la fase gaseosa, se rompe el equilibrio y hay un tiempo en el que las velocidades de evaporación y condensación no son las mismas, lo cual lleva a que se reduzca la masa de agua gaseosa hasta que se restablece el equilibrio. Esto es, se igualan nuevamente las velocidades y vuelve la presión del gas al valor correspondiente a la p_v , a la temperatura del sistema. Aquí puede mostrarse que, cuando se habla en términos de desplazamiento del equilibrio, se hace explícita la disminución de masa de agua en la fase gaseosa, antes mencionada, y ello se relaciona con la extensión del proceso. En este momento se aconseja introducir la ecuación que representa el proceso e interpretar su significado.

Es interesante destacar aquí que, a temperatura constante, el sistema alcanza el mismo estado de equilibrio, caracterizado por la p_v , sin importar las condiciones iniciales

Algunas partes de la propuesta se adecuan muy bien para trabajar en la diferenciación entre los conceptos de velocidad y extensión. Ello ayuda a profundizar en el concepto de sistema en equilibrio dinámico y aporta un significado más adecuado a expresiones tales como “cambia la extensión en la que se produce la reacción”, de forma tal que redunde en beneficios cuando se analiza el comportamiento del sistema frente a los cambios. Por ejemplo, en esta Actividad 2, cuando se analiza cómo se comporta el sistema ante un cambio del volumen ocupado por el gas, se puede aprovechar para introducir la diferenciación entre velocidad y extensión del proceso, aspecto que más adelante se puede retomar en la Actividad 3, cuando se analiza el comportamiento del sistema a diferentes temperaturas.

En la Actividad 3, se propone introducir algunos aspectos distintivos que amplían la conceptualización de sistema en equilibrio dinámico. Entre ellos, inicialmente se puede trabajar en la interpretación microscópica de la coloración del sistema cuando ya no cambia. Ello permite postular la coexistencia de ambas especies (NO_2 y N_2O_4) en el recipiente y aplicar el modelo de sistema en equilibrio dinámico, antes elaborado, como interpretación de lo observado. También puede destacarse la interpretación de cómo ocurren la rotura y formación de enlaces en el sistema NO_2 (g) / N_2O_4 (g) y realizar las consideraciones termodinámicas que ello conlleva. La ecuación química cobra aquí mayor sentido y, por lo tanto, es importante retomar la idea planteada en la actividad anterior e integrarla en la discusión sobre el significado de sistema en equilibrio dinámico, aplicada ahora a un sistema químico.

Cuando posteriormente se trabaja con el sistema a diferentes temperaturas, se continúa ampliando el significado de ecuación química en lo que respecta a su vinculación con la composición del sistema en equilibrio. Aquí las representaciones moleculares del sistema a diferente temperatura son una ayuda para la interpretación de la composición, pero es necesario trabajar esto muy relacionado con la constante de equilibrio y, además, diferenciar entre los conceptos de masa y concentración.

Trabajar con representaciones microscópicas de lo que ocurre en el recipiente de reacción, requiere tener en cuenta que los estudiantes pueden estar confundiendo términos macro y microscópicos. Cuando se realizan las representaciones de los recipientes conteniendo el sistema en equilibrio, a dos temperaturas diferentes, si bien ello sirve para que los alumnos

analicen la composición del sistema y su relación con la constante de equilibrio, es necesario diferenciar los conceptos que ello involucra, esto es, aprovechar estas representaciones para diferenciar los conceptos de masa y concentración.

A partir de aquí se sigue trabajando en la elaboración de un significado de sistema en equilibrio dinámico que se pueda aplicar al estudio de diferentes sistemas químicos y que sirva para reinterpretar dichos sistemas, de forma tal que incluyan también los sistemas en equilibrio dinámico.

Como ya se ha dicho, antes de abordar el sistema de la Actividad 4, resulta útil introducir otro sistema de reacción homogéneo, como por ejemplo el que corresponde a la formación de NH_3 en el proceso Haber, que resulta habitual en el aprendizaje de este tema. Posteriormente a ello podría proponerse a los alumnos la elaboración de un mapa conceptual que permitiese mostrar en qué medida han podido integrar los principales conceptos trabajados.

A continuación se trabaja con el sistema $\text{CO}_3\text{Ca}/\text{CaO}$. Se está en condiciones de analizar el comportamiento del sistema en cuestión, si cambia la masa de carbonato presente o si se modifica el volumen del recipiente, atendiendo a todo lo desarrollado para los sistemas anteriores, volviendo a lo analizado para el sistema $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) / \text{H}_2\text{O}(\text{g})$, para ampliar la interpretación de la constancia de la concentración de la fase condensada. A estas alturas de la instrucción, podría considerarse que el alumno ha tenido oportunidad de elaborar un significado de sistema en equilibrio dinámico.

El aprendizaje en este tema involucra el trabajo con varios conceptos y modelos relacionados aprendidos previamente. Cobra una importancia central el conocimiento de la situación de los estudiantes en relación con el aprendizaje en Química, fundamentalmente en los temas vinculados, sobre los que muchas veces poseen concepciones alternativas muy arraigadas. Se considera necesario entonces que la discusión acerca de la enseñanza y el aprendizaje en este tema abarque no sólo lo que puede hacerse en relación con ello a la altura del currículo en que se ha de desarrollar, sino que se planteen algunas modificaciones en el trabajo previo, sobre ideas y modelos que son centrales en el aprendizaje en Química. En tal sentido, por un lado sería necesario apuntar a una enseñanza que se ocupe particularmente de desarrollar la

capacidad de elaborar y usar conceptos y modelos de forma tal que se pudiera ir ampliando su significado e integrándolos en la estructura cognitiva. Por otro lado, se considera central, la enseñanza de la Química, pensando en términos de sistemas. Ello implica que cada parte del sistema químico puede interpretarse sólo en relación con el resto del sistema. Trabajar de esta forma requiere enfocar la atención en conocer las interacciones que ocurren, lo cual permite entender los cambios que experimentan y predecir las propiedades observables. Esto implica una visión de la Química que no es la de la interpretación de los cambios como procesos causa – efecto, que se analizan a partir de la percepción de los estados inicial y final (Pozo y Gómez, 1998.- pp 155). Requiere la interpretación de las interacciones teniendo en cuenta que lo relevante no es sólo el proceso inmediato que ha producido el cambio, sino el conjunto de relaciones impuestas por el modelo teórico (por ejemplo: modelo cinético – molecular; idea de sistema en equilibrio dinámico), para la explicación del fenómeno en cuestión.

La introducción del tema Equilibrio Químico como la planteada en la presente tesis, resulta útil además, para ampliar la conceptualización acerca de los sistemas químicos y su comportamiento, incluso si no se pretende introducir un tratamiento más profundo del Equilibrio Químico. La introducción e interpretación de la idea de sistema en equilibrio dinámico permite discutir con los alumnos muchos aspectos relevantes del comportamiento de los sistemas físicos y químicos, tales como la reversibilidad y la interpretación de la ecuación química como representación de cómo ocurre el proceso, que no se hacen explícitos habitualmente en la instrucción en Química, previo al estudio de este tema.

Este trabajo es una muestra más de que en la enseñanza universitaria también es necesario ayudar a los alumnos a que reflexionen sobre lo que están aprendiendo y profundicen en la comprensión de los conceptos y teorías centrales (Pontes y Pro, 2001). Muchas de las problemáticas que conlleva el aprendizaje, por ejemplo en el tema Equilibrio Químico, son comunes a la educación a nivel de escuela secundaria y a la universitaria.

Una reflexión final sobre el rol del docente en este tipo de trabajos de investigación, que requieren llevar adelante en el aula una propuesta innovadora...

Desde una perspectiva constructivista, que podría encuadrarse en el paradigma del “pensamiento del profesor”, el docente se concibe como un profesional que cotidianamente se halla involucrado en un proceso de toma de decisiones fundamentadas, tanto cuando diseña la manera de enseñar, como cuando lleva adelante las clases. En este proceso es relevante el papel que juega el contenido específico objeto de enseñanza. Shulman (1986) destaca la importancia de ser docente de determinada asignatura: “profesor de química”, “profesor de historia”, ó “profesor de inglés”, porque considera que se aprende cómo enseñar, pero no cómo enseñar en general, sino “cómo enseñar equilibrio químico”; “cómo enseñar fracciones”, “cómo enseñar electricidad”. Conceptualiza esta tarea como una transformación del conocimiento de la asignatura, en una forma de conocimiento accesible para ser enseñada a los estudiantes. En esa transformación se pone en juego el conocimiento del currículum, de los estudiantes, de las intenciones de la educación, de las habilidades para enseñar en general y el contenido de la asignatura, en particular. A ese conocimiento se lo denomina conocimiento pedagógico del contenido (CPC). El concepto de CPC hace referencia a la interpretación del docente del objeto de conocimiento a enseñar y de la transformación que requiere dicho conocimiento, en función del contexto, para facilitar el aprendizaje de los estudiantes. Van Driel y otros (1998b) afirman que el CPC puede usarse para describir cómo los profesores noveles aprenden, poco a poco, a interpretar y transformar el contenido temático del área, en unidades de significado comprensibles para un grupo diverso de estudiantes.

En tal sentido, es importante subrayar, que el estudio realizado en esta tesis puede considerarse útil también en cuanto permite mostrar algunas estrategias que resultan efectivas para el trabajo de enseñar este tema en particular, pero también permite ver cómo, el docente que ya posee varios años de experiencia en la enseñanza del equilibrio químico, pone en juego sus propias estrategias, independientemente de lo que se ha planteado en la propuesta diseñada. En relación con esto, es importante reiterar una vez más, que en este trabajo se ha intentado hacer explícitas las diferencias y similitudes entre el rol del profesor, planeado en la etapa de diseño, y el adoptado por el docente, cuando aplica en el aula la secuencia de enseñanza.

El conocimiento pedagógico del contenido, influye y se transforma fuertemente, cuando se propone al docente realizar un trabajo de aula, más o menos diferente al que ha venido desarrollando a lo largo de su trayectoria como tal, en un tema en particular. El trabajo del

docente se caracteriza por requerir siempre respuestas apropiadas a acontecimientos imprevisibles, lo cual hace de la flexibilidad del profesor un rasgo muy valioso que le permite enfrentar las problemáticas que surgen, juzgar los rasgos salientes de dichas cuestiones, y tomar decisiones rápidas en beneficio del aprendizaje de los estudiantes (Bond-Robinson, 2005).

Resta decir una pocas palabras acerca de cómo continúa el trabajo que aquí se presenta. Está inmerso en un proyecto de investigación entre cuyos objetivos se encuentra: *profundizar en el estudio, a través de la investigación, de las relaciones existentes entre la formación de los docentes y la puesta en aula del diseño curricular, como así también, elaborar y validar, recursos educativos que guíen la actuación del docente*, todo en un marco en el que se busca potenciar espacios de trabajo conjunto de investigadores y docentes, para analizar los factores que facilitan y que obstaculizan la posibilidad de que los resultados de la investigación educativa sean transferidos a la práctica docente. Pero además, los resultados que se van obteniendo se vuelcan a realimentar la formación de los profesores en Química, que se forman en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, como así también a la formación continua de docentes de ciencias que participan de las carreras Licenciatura en Enseñanza de las Ciencias Naturales y Maestría en Enseñanza de las Ciencias Experimentales, de las cuales la autora de esta tesis y otros integrantes del grupo de investigación, es docente.

BIBLIOGRAFÍA

- Arnay, R. 1997. Reflexiones para un debate sobre la construcción del conocimiento en la escuela: hacia una cultura científica escolar. En: Rodrigo, M.J. y Arnay, J. (compiladores). *La construcción del conocimiento escolar*. Barcelona: Paidós.
- Atkins, P. y Jones, L. 1998. *Química: moléculas, materia y cambio*. 3ª edición. Original en inglés: Chemistry: molecules, matter and change (1997). Ediciones Omega. Barcelona.
- Ausubel, D., Novak, J. y Hanesian, H. 1983. *Psicología educativa*. México: Trillas.
- Banerjee, A. 1991. Misconceptions of students and teachers on chemical equilibrium. *International Journal of Science Education* 13, 4, 487-494
- Banerjee, A. 1991b. The development of modules for the teaching of chemical equilibrium. *Science Education* (3), 355 – 362
- Barlet, R. y Plouin, D. 1994. L' equation bilan en chimie. Un concept intégrateur source de difficultés persistantes. *ASTER* 18, 27 – 56.
- Bensaude – Vincent, B y Stengers, I. 1997. *Historia de la Química*. Addison – Wesley. Universidad Autónoma de Madrid. España.
- Ben Zvi, R.; Eylon, B. y Silberstein, J. 1987. *Journal Education in Chemistry*, 117 – 120.
- Bergquist, W. y Heikkinen, H. 1990. Students' ideas regarding chemical equilibrium. What written test answers do not reveal. *Journal of Chemical Education*, 1990, 67(12), 1000-1003.
- Bermejo, M.; González, T. y Mellado, V. 2004. Cognitive maps from interviews as a procedure to analyse science teachers' conceptions of the nature of science. En Cañas, A.; Novak, J. y González, F. (eds). *Proceedings of the first international conference on Concept Mapping*. España.
- Bertelle, A.; Castro, M. García, S. y Rocha, A. 2006. Aportes a la discusión acerca de la formación de docentes en ciencias. En Díaz de Bustamante, J. y Jiménez Aleixandre, M. P. (eds.). *Perspectivas sobre el aprendizaje de las ciencias y de las matemáticas. Estudios en honor del profesor Eugenio García - Rodeja Fernández*, Servicio de publicaciones. Universidad de Santiago de Compostela. España.

- BouJaude, S. 1993.** *Students' systematic errors when solving kinetic and chemical equilibrium problems.* Paper presentado en Annual Meeting of the National Association for research in Science Teaching. Atlanta. Georgia.
- Brown, T., Le May, H. y Bursten, R. 1998.** *Química. La ciencia central.* 7ª edición. Prentice Hall. Méjico. Traducción castellana de : Chemistry: The central science. (7th ed).
- Camacho, M. y Good, R. 1989.** Problem solving and chemical equilibrium: successful versus unsuccessful performance. *Journal of Reserch in Science Teaching* 26 (3), 251 – 272
- Carr, M. 1984.** Model confusion in chemistry. *Research in Science Education*, 14, 97-103.
- Caruso, F. Castro, M. Domínguez Castiñeiras, J. García - Rodeja, E. Iturralde, C. Rocha, A. Scandrolí, N. 1998.** Construcción del concepto de reacción química. *Educación química* 9 (3), 151 - 155.
- Chang, R. 2001.** *Química.* Mc Graw Hill. Méjico. Traducción castellana de la sexta edición en inglés de Chemistry (1991). Mc Graw Hill. USA.
- Chastrette, M. y Franco, M. 1991.** La reacción química: descripciones e interpretaciones de los alumnos de liceo. *Enseñanza de las Ciencias* 9 (3), 243 – 247.
- Chevallard, Y. 1991.** *La trasposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñado.* 2da. Edición. Aique.
- Covaleda, R.: Moreira, M. A. y Caballero, M. C. 2005.** Los significados de los conceptos de sistema y equilibrio en el aprendizaje de la mecánica. Estudio exploratorio con estudiantes universitarios. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 4 (1)
- De Longhi, A. 2000.** El discurso del profesor y del alumno: un análisis didáctico en clases de ciencia. *Enseñanza de las Ciencias.* 18 (2), 201 - 216.
- De Longhi, A. 1996.** Análisis didáctico de la comunicación del conocimiento en clases de ciencia del nivel medio. *Actas del Simposio de Investigación en Educación en Física.* Argentina.
- De Pro, A., 2003.** La construcción del conocimiento científico y los contenidos de ciencias. En Jiménez A., M. P. (coord.). *Enseñar ciencias.* Graó. España.
- De Vos, W.; Berkel Van B. y Verdonk, A. 1994.** A coherent conceptual structure of Chemistry curriculum, *Journal of Chemical Education* 71(9), 743 – 746.

De Vos, W. y Verdonk, A. 1996. The particulate nature of matter in Science Education and in Science. *Journal of Research in Science Teaching* 33 (6), 657 – 664.

Dirección General de Cultura y Educación. Gobierno de la provincia de Buenos Aires (DGCE). 2003. *Documento base. Programa para la definición del Diseño curricular del nivel Polimodal.*

Domínguez C., J. y Pro B., A. 2006. A Metodoloxía AcAb. Unha Proposta Didáctica para o Ensino - Aprendizaxe das Ciencias. En Díaz y Jiménez (Eds.) *Perspectivas sobre a aprendizaxe das Ciencias e das Matemáticas.* Departamento de Didáctica das Ciencias Experimentais. Universidade de Santiago de Compostela.

Domínguez C, J.; Pro B., A. y García – Rodeja F., E. 1998. Las partículas de la materia y su utilización en el campo conceptual de calor y temperatura: un estudio transversal. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), 461-475.

Domínguez C., J. 2000. *Evolución de las formas de hacer y de pensar sobre un sistema material, en el marco de la Termodinámica y del modelo de partículas.* Estudio mediante esquemas de acción y de razonamiento. Tesis doctoral. USC. España.

Driver, R. y Newton, P. 1997. *Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms.* Paper presentado en la conferencia anual de ESERA. Roma.

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

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

Everston, C. y Green, J. 1997. La observación como indagación y método (Cap. V). En Wittrock, M. (compilador). *La investigación de la enseñanza, II.* 1ª reimpresión de la 1ª edición en español (1989). Paidós educador – MEC. España.

Fenstermacher, G. 1989. Tres aspectos de la filosofía de la investigación sobre la enseñanza (Cap. III). En Wittrock, M. *La investigación de la enseñanza, I. Enfoques, teorías y métodos.* Paidós Educador. M.E.C. España.

Finley, F.; Stewart, J. y Yarroch, W. 1982. Teachers' perceptions of important and difficult science content. *Science Education* 66 (4), 531 – 538.

- Furió, C. y Ortiz, E. 1983. Persistencia de los errores conceptuales en el estudio del equilibrio químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1) 15-20.
- Gabel, D. 1999. Improving teaching and learning through Chemistry Education Research: a look to the future. *Journal of Chemical Education*. 76 (4), 548 – 554.
- Galagovsky, L. 2005. La enseñanza de la Química pre-universitaria. ¿Qué enseñar, cómo, cuánto, para quienes? *Química Viva* 1 (4). Quimicaviva@qb.fcen.uba.ar
- García de Cajén, S.; Domínguez C., J. y García – Rodeja F., E , 2002. Razonamiento y argumentación en ciencias. Diferentes puntos de vista en el currículo oficial. *Enseñanza de las Ciencias* 20 (2), 217 – 228.
- García – Rodeja, E; Domínguez C., J. y Lorenzo F. 1989. Las actividades Abiertas en el aula: un método de investigación didáctica. *Enseñanza de las Ciencias. N° Extra III Congreso*, 2, 201-201
- García-Rodeja, E.; Domínguez, J.M.; Lorenzo, F. M. y Díaz, J. 1988. Reseña Histórica del Proyecto AcAb. Hacia un cambio de actitud y de metodología en la Enseñanza de las Ciencias Experimentales. *Adaxe. Revista de estudios e experiencias educativas*, 4, 29-41.
- García – Rodeja, E; Lorenzo B. F.; Domínguez C., J. y Díaz de Bustamante, J. 1987. *Proyecto AcAb Química. Una visión de la enseñanza integrada de la Química por medio de Actividades Abiertas*. Servicio de publicaciones de la Universidad de Santiago de Compostela. España.
- García - Rodeja F., E.; Lorenzo B., F. M. y Domínguez C., J. 1994. *Proyecto AcAb Física. Actividades Abiertas para una Enseñanza Integrada de la Física*. Santiago de Compostela: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Santiago de Compostela. España.
- Gilbert, J.; De Jong, O.; Justi, R. y Tregust, D. 2002. General Preface. *Chemical education: Towards Research-based Practic*. Kluwer Academic Publishers. Londres.
- Giere, R. 1999. Didáctica de la ciencia basada en el agente. Roles para la filosofía de la ciencia y las ciencias cognitivas. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, junio, 5-7.
- Glasstone, S. 1978. *Termodinámica para químicos*. 5ª edición. Aguilar. Madrid.
- Gómez Crespo, M. 1996. Ideas y dificultades en el aprendizaje de la química. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* 7, 37- 44.

- Gómez Moliné, M. y Sanmartí Puig, N. 1996. La didáctica de las ciencias: una necesidad. *Educación Química* 7 (3), 156-168
- Gorodetsky, M. y Gussarsky, E. 1986. Misconceptualization of the chemical equilibrium concept as revealed by different evaluation methods. *European Journal Science Education* 8 (4), 427-441
- Gowin, 1981.
- Grosslight, K.; Unger, C.; Jay, E. y Smith, C. 1991. Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 799-822.
- Gutiérrez J., M.; Gómez C., M. y Pozo M., J. 2002. Conocimiento cotidiano frente a conocimiento científico en la interpretación de las propiedades de la materia. *Investigações em Ensino de Ciências* 7 (3).14 pgs. www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7_n3_a1.htm
- Hackling, M. y Garnett, A. 1985. Misconceptions of chemical equilibrium. *European Journal of Science Education*, 7, 205-214
- Haidar, A. y Abraham, M. 1991. A comparison of Applied and Theoretical Knowledge of Concepts Based on the Particulate Nature of Matter. *Journal of Research in Science Teaching* 28 (10), 919 – 938.
- Halwachs, F. 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, C. (comp.): *Psicología genética y aprendizajes escolares*. Madrid: Siglo XXI.
- Henderson, C.; Yerushalmi, E.; Heller, K; Heller, P. y Kuo, V. 2003. Multi – Layered Concept Maps for the analysis of complex interview data. *Proceedings of the Physics Education Research Conference*. Madison. Wisconsin.
- Hodson, D. 1998. *Teaching and learning science. Towards a personalized approach*. Buckingham: Open University Press.
- Hodson, D. 1994. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 299-313.
- Hodson, D. 1987. Social control as a factor in science curriculum change. *International Journal of Science Education*, 9 (5), 529-540.
- Jiménez A., M. P. 1996. *Dubidar para aprender*. Ediciones XERAIS de Galicia.

- Johnstone, A. 1982. Macro and micro chemistry. *The School Science Review* 64 (227), 377 – 379.
- Johnstone, A.; Mac Donald, J. y Webb, G. 1977a. Chemical Equilibrium and its conceptual difficulties. *Education in Chemistry* 14, 169
- Johnstone, A.; Mac Donald, J. y Webb, G. 1977b. Misconceptions in school thermodynamics. *Physics Education* 5, 248 – 251. controlar pg 80 cap 2
- Kelly, G. A. 1955. *The Psychology of Personal Constructs*. Norton: New York
- Kermen, I. 2005. Pourquoi une transformation chimique s'arrête-t-elle ? Les explications d'élèves de terminale S. *Actas Quatrièmes rencontres de l'Ardist*. Lyon.
www.inrp.fr/ardist2005/ressources/contributions/43.pdf
- Laidler, K. 1995. La termodinámica de van't Hoff. *The world of Physical Chemistry* (Capítulo 4). Oxford University Press. Toronto.
- Latour, B. 1992. *Ciencia en acción*. Barcelona: Labor.
- Leach, J. y Scott, P. 2002. Designing and evaluating Science Teaching sequences: An approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. *Studies in Science Education* 38, 115-142.
- Levine, I. 1983. *Fisicoquímica*. Mc Graw Hill.
- Lindauer, M. 1962. The evolution of the concept of chemical equilibrium from 1775 to 1923. *Journal of Chemical Education* 39(8), 384–390
- Llorens, J.A. 1991. *Comenzando a aprender química*. Madrid: Visor.
- Mammino, L. 2002. Empleo del análisis de errores para aclarar conceptos de Química general. *Enseñanza de las Ciencias* 20 (1), 167 – 174.
- Maskill, R y Cachapuz, A. 1989. Learning about the chemistry topic of equilibrium: the use of word association tests to detect developing conceptualizations. *International Journal of Science Education* 11, 1, 57 - 69.
- McClure, J.; Sonak, B. y Suen, H. 1999. Concept map assessment of classroom learning reliability, validity, and logistical practicality. *Journal of Research in Science Teaching* 36 (4), 475 - 492.

- Ministerio de Cultura y Educación (MCE). 2006. *Ley 26206*.
- Ministerio de Cultura y Educación (MCE). 1994. *Ley 24195*.
- Ministerio de Cultura y Educación (MCE). 1995. Documento de contenidos básicos para la Educación General Básica. Argentina.
- Ministerio de Cultura y Educación (MCE). 1997. *Documento de Contenidos Básicos para la Educación Polimodal*. Consejo Federal de Cultura y Educación. Argentina.
- Moreira, M. A. 1997. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. *Actas Encuentro Investigación sobre Aprendizaje Significativo*. Burgos. España.
- Nakhleh, M. y Mitchell, R. 1993. Concept learning vs. Problem solving. *Journal of Chemical Education*, 70 (3), 190 – 192
- Nakhleh, M. 1992. Why some students don't learn Chemistry. Chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education* 69 (3). 191- 196.
- Nieda O. J.; Díaz M. M.; García B. P.; Ortega N., P.; Bonilla M., I. y Aguirre de Carcer, I. 1986. El uso de mapas conceptuales en la corrección de preguntas abiertas en Biología. *Enseñanza de las Ciencias* 4 (1) 91 – 95.
- Novak, J. 2002. Meaningful learning: The essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. *Science Education* 86 (4), 548 – 571.
- Novak, J. 1998. *Learning, creating and using Knowledge. Concept maps as facilitative tools in schools and corporations*. Lawrence Erlbaum Associates. Inc., Publishers
- Novak, J. 1988. Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias* 6(3) 213 – 223
- Novak, J. y Musonda, D. 1991. A Twelve-Year Longitudinal Study of Science Concept Learning. *American Educational Research Journal*, 28 (1), 117 - 153.
- Novak, J. y Gowin, B. 1988. *Aprendiendo a aprender*. Ediciones Martínez Roca S. A. España.
- Novick, S. y Nussbaum, J. 1978. Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: An interview study. *Science Education* 62 (3), 273 – 281.

- Nuremberg, S. y Pickering, M. 1987. Concept learning versus problem solving: Is there a difference? *Journal of Chemical Education* 64 (6) 508 – 510.
- Oliva, J. 2005. Sobre el estado actual de la Revista Enseñanza de las Ciencias y algunas propuestas de futuro. *Enseñanza de las Ciencias* 23 (1), 123 – 132.
- Ollerenshaw, Ch. y Ritchie, R. 1997. *Primary Science. Making it work*. 2ª. Ed. London: David Fulton Publishers.
- Pedrosa, M. A. y Días, M. H. 2000. Chemistry textbook approaches to chemical equilibrium and student alternative conceptions. *Chemistry Education Research and Practice in Europe* 1(2), 227 – 236
- Pendley, B.; Bretz, R. y Novak. J. 1994. Concept maps as a tool to assess instruction in chemistry. *Journal of Chemical Education* 70 (1), 9-15.
- Piaget, J. 1978. *La equilibración de las estructuras cognitivas*. Madrid: Siglo XXI
- Pontes, A. y Pro B., A. 2001. Concepciones y razonamientos de expertos y aprendices sobre electrocinética: consecuencias para la enseñanza y la formación de profesores. *Enseñanza de las Ciencias* 19 (1) 103 – 121.
- Porlán, R. 1987. El diario del profesor. *Investigación en la Escuela* , 2, 77-78.
- Pozo M., J. 1996. *Aprendices y maestros*. Alianza. Madrid
- Pozo M., J. y Gómez C., M. 1998. *Aprender y enseñar ciencia*. Morata. Madrid.
- Pozo M., J.; Gómez C., M; Limón, M y Sanz, A. 1991. *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: ideas de los alumnos sobre la Química*. MEC. Madrid.
- Quílez, J. 2004. Changes in concentration and in partial pressure in chemical equilibrium: students' and teachers' misunderstandings. *Chemistry education: research and practice* 5 (3), 281 – 300
- Quílez P., J. y Soláz P., J. 1995. Students' and teachers' misapplication of Le Chatelier Principle: Implications for the teaching of Chemical Equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching* 32 (9), 939 - 957.
- Raviolo, A. y Martínez A., M 2003. Una revisión sobre las concepciones alternativas de los estudiantes en relación con el equilibrio químico. Clasificación y síntesis de sugerencias didácticas. *Educación Química* 14 (3), 60 – 66.

Ribeiro, G.; Costa Pereira, D. y Maskill, R. 1990. Reaction and spontaneity: the influence of meaning from everyday language on fourth year undergraduates' interpretations of some simple chemical phenomena. *International Journal Science Education* 12(4), 391 – 401.

Rocha, A. 2005. Algunas reflexiones sobre la Química y su enseñanza en los niveles educativos preuniversitarios, en Floris, C. y Landívar, T. *Las disciplinas, las áreas: problemática de su enseñanza*. Serie Cuadernos de Educación y Prácticas Sociales. CIPTE-UNCPBA.

Rocha, A. (coord.). 2000. *Enseñanza - aprendizaje de las ciencias: un compromiso compartido*. Consejo Editorial de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Argentina.

Rocha, A.; García - Rodeja, E.; Scandrolí, N. Domínguez C., J. 2000. Propuesta para la enseñanza del equilibrio químico. *Educación Química*, 11 (3), 343 – 352

Rohr, M. y Reimann, P. 1998. Reasoning with multiple representations when acquiring the particulate model of matter, en Van Someren, M.; Reimann, P.; Boshuizen, H. y de Jong, T. (editores) *Learning with multiple representations*. Elsevier Science. UK

Sánchez B., G y Valcárcel P., M. 1993. Diseño de unidades didácticas en el área de Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1), 33-44.

Sánchez B., G. y Valcárcel P., M. 1999. Science Teachers' Views and Practices in Planning for Teaching. *Journal of Research in Science Teaching* 36 (4), 493 – 513.

Sánchez P., J. 2007. *Enseñanza de la Cinética Química en Secundaria*. Tesis de Doctorado. Universidad de Santiago de Compostela: Servicio de Publicaciones.

Sanmarti P., N. 2002. *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Madrid: Editorial Síntesis.

Selvaratnam, M. 1974. Use of problems in chemistry courses. *Education in Chemistry* 11 (6) 201 -202, 205.

Shayer, M. y Adey, P. 1986. *La Ciencia de Enseñar Ciencias*. Madrid: Narcea.

Shulman, L. 1986. Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*. 15 (2), 4-14.

Solsona, N; Pla, J.; Izquierdo, M.; de Jong, O. 2003. Exploring the development of student's conceptual profiles chemical change. *International Journal Science Education* 23 (1), 3-12

- Spradley, J. 1979. *The ethnographic interview*, Holt, Rinehart and Winston, N.Y.
- Stavridou, H. y Solomonidou, C. 1998. Conceptual reorganization and the construction of chemical reaction concept during secondary education. *International Science Education* 20 (2), 205 – 221.
- Stenhouse, L. 1987. *Investigación y desarrollo del curriculum*. Morata. Madrid.
- Treagust, D. y Gräber, W. 2001. Teaching Chemical Equilibrium in Australian and German Senior High Schools, en Behrendt, H., Dahncke, H., Duit, R., Gräber, W., Komorek, M., Kross, A. y Reiska, P. (eds.) *Research in Science Education- Past, Present and Future*. Kluwer Academic Publishers. Londres.
- Trinidad – Velasco, R. y Garritz, A. 2003. Revisión De las concepciones alternativas de los estudiantes de secundaria sobre la estructura de la materia. *Educación Química* 14 (2), 92-105
- Tyson, L.; Treagust, D. y Bucat, R. 1999. The complexity of teaching the topic of chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education* 76, 554 – 558
- van Driel, J. y Gräber, W. 2002. The teaching and learning of chemical equilibrium (cap. 12), en Gilbert y otros (eds.) *Chemical education: Towards Research-based Practice*. Kluwer Academic Publishers
- Van Driel, J.; De Vos, W.; Verloop, N. y Dekkers, H. 1998a. Developing secondary students' conceptions of chemical reactions: the introduction of chemical equilibrium. *International Journal Science Education* 20 (4), 379 – 392
- Van Driel, J. H.; Verloop, N. y De Vos, W. 1998b. Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge. *Journal Research in Science Teaching*. 36 (6), 673-695.
- Wandersee, J.; Mintzes, J. y Novak, J. 1994. *Research on alternative conceptions in science*. D. Gabel (ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. Mc Millan, N. Y.
- Wheeler, A. y Kass, H. 1978. Students Misconceptions in Chemical Equilibrium. *Science Education*, 62 (2), 223 – 232
- Whitten, R.; Davis, M. y Peck L. 1997. *Química General*. 2ª. Edición. Mc Graw Hill. Versión castellana de la tercera edición en inglés de *General Chemistry* (1996). Saunders College Publishing.

Yager, R. y Kahle, J. 1982. Priorities for need policies and research in science education.
Journal of Research in Science Teaching, 19, 523 - 530

Anexo 1. Trabajo Práctico Equilibrio Químico

QUÍMICA BIOLÓGICA

TRABAJO PRÁCTICO N° 1.

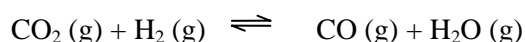
EQUILIBRIO QUÍMICO

1) Dadas las siguientes reacciones

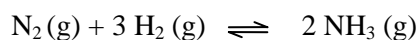


- Escriba la expresión de la constante de equilibrio para ambas reacciones
- Analice el valor de la constante e indique, para cada caso, si hay predominio de productos o reactivos en la mezcla de reacción.

2) Calcular la concentración de hidrógeno en el siguiente sistema, sabiendo que a una determinada temperatura contiene 0,07 mol/l de CO₂, 0,95 mol/l de H₂O y 25 g/l de CO y que el valor de K es de 1,6.



3) La fabricación industrial de amoníaco es un proceso exotérmico, cuya reacción se representa:



- ¿En qué condiciones de temperatura conviene efectuar la reacción para obtener el máximo rendimiento?
- ¿Qué ocurre en el sistema si se aumenta la presión?

4) En un recipiente de un litro se introducen dos moles de NH₃, que se disocia parcialmente según la siguiente ecuación: $2 \text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g})$

En el equilibrio queda un mol de NH₃(g), ¿cuál es el valor de K?

5) Se mezclan inicialmente 0,84 moles de PCl₅ y 0,18 moles de PCl₃ en un recipiente de 1 litro. Cuando se alcanza el equilibrio quedan 0,72 moles de PCl₅.

- ¿Cuál es el valor de la constante de equilibrio para la reacción que se presenta, a la temperatura de trabajo?



- ¿Si a la misma temperatura se colocan en un recipiente de dos litros 3,6 moles de reactivo, cuánto habrá de cada sustancia en el equilibrio?

Anexo 2. Registro descriptivo de las clases

A continuación aparecen los cuadros A2.1 a A2.6 que contienen las desgrabaciones de las clases, con algunos comentarios y acotaciones realizados por el observador. Los puntos suspensivos en algunas partes de la transcripción corresponden a frases que no se entienden en la desgrabación dado que hablan varias personas a la vez. Las frases entre paréntesis corresponden a aclaraciones del observador. Los códigos indican de qué parte de cada actividad de la propuesta (teórica), presentada en el Capítulo 2, se trata.

Antes de desarrollar la propuesta en el aula, se acordó con el docente, trabajar sobre uno de los aspectos difíciles vinculados al conocimiento de que disponen los alumnos, detectado en la prueba previa: la utilización del modelo de materia discontinua. Esta parte introductoria que se presenta al inicio del registro descriptivo, aparece como Actividad introductoria (I):

- Actividad introductoria. Parte 1 (I-1)
- Actividad introductoria. Parte 2 (I-2)
- Actividad introductoria. Parte 3 (I-3)

Las actividades de la propuesta didáctica son:

Actividad 1 (a1). Evaporación del agua en un recipiente abierto.

Actividad 2 (a2). Evaporación de agua en un recipiente cerrado

- Actividad 2. Parte 1. Descripción e interpretación del sistema (a2-1)
- Actividad 2. Parte 2. Presión de vapor (a2-2)
- Actividad 2. Parte 3. Cambios en la temperatura del sistema (a2-3)
- Actividad 2. Parte 4. Otros cambios en el sistema (a2-4)

Actividad 3 (a3) Sistema en el que ocurre la dimerización del NO_2

- Actividad 3. Parte 1. Interpretación molecular del equilibrio (a3-1)
- Actividad 3. Parte 2. Cambios en la temperatura del sistema (a3-2)
- Actividad 3. Parte 3. Introducción de la constante de equilibrio (a3-3)

Actividad 4 (a4) . Producción de cal viva a partir de caliza en un sistema abierto y en un sistema cerrado.

- Actividad 4. Parte 1. Descripción comparativa de los dos sistemas (a4-1)
- Actividad 4. Parte 2. Análisis de la influencia de la fase condensada (a4-2)

Los códigos de la columna de la derecha permiten identificar la parte de una Actividad a la que se refiere cada trozo del registro, mientras que los números de la otra columna identifican el fragmento de la desgrabación. Son números correlativos que se utilizan para identificar los trozos correspondientes en el análisis.

P: Profesor; A: Alumno; VA: varios alumnos;: no es posible entender lo que se dice		
DESARROLLO DE LAS CLASES	N°	Cód
<p style="text-align: center;">Clase N° 1</p> <p>P: Realmente nuestra preocupación desde hace varios años es cómo mejorar el desarrollo de este tema dado que vemos bastante dificultad. Este es un tema muy importante para otras asignaturas. Esperamos que entre hoy y el miércoles cierre esta idea que pretendemos trabajar. Sabemos que si no se comprende de entrada, después hay que aplicarlo.....</p> <p>P: Vamos a trabajar de una manera diferente, sobre un tema que consideramos complejo. El de equilibrio químico es un concepto que siempre nos ha traído muchos problemas. Intentaremos irlo construyendo entre todos. Vamos a trabajar de una manera diferente. Pretendemos que vayan registrando, anotando, las ideas que ustedes tienen acerca de cada una de las cosas que se vayan planteando en clase</p> <p>P: Queremos que vayan anotando lo que son sus ideas del tema, y vayan comparando con lo que se introduce en las clases, qué modificaciones se dan a lo que ustedes piensan. Las hojas van a sernos útiles a nosotros para ir viendo si realmente vamos logrando formar el concepto.</p>	1	I-1
<p>P: Ustedes tienen una explicación pero vamos a intentar una explicación diferente de ciertos fenómenos usando un modelo que permita explicar mejor, justificar mejor, por qué pasa "esto". Por ejemplo, por qué se disuelve..... El modelo tiene que ver con la justificación. El concepto lo vamos a ir construyendo entre todos. Quiero que me interrumpan, que expresen sus ideas, para ver si va "quedando claro".</p> <p>P: empezaremos trabajando en explicaciones utilizando un modelo de materia que nos permita interpretar cómo ocurren ciertos fenómenos sencillos.</p>	2	
<p><i>El profesor entrega las hojas y propone que se registre en ellas todo lo que surge a medida que se va trabajando.</i></p> <p>P: Inflamos un globo. La pregunta es ¿cómo se imaginan...?. Lo primero que nos interesa es analizar, por ejemplo, en la primera actividad propuesta, Un globo inflado con cualquier gas. Imaginen cómo las partículas</p> <p>P: ¿Cómo nos imaginamos que están las partículas, las moléculas que forman el gas, en el interior del globo?. Usaremos un modelo que nos permita interpretarlo. Me gustaría que lo dibujaran y brevemente contaran cómo se lo imaginan...</p> <p><i>(Los alumnos discuten y escriben en las hojas de trabajo, agrupados de a dos o tres)</i></p> <p>P: escribanlo brevemente en las hojas</p>	3	I-2

<p><i>(Retomando el trabajo en el grupo grande, para una puesta en común)</i></p> <p>P: Es bueno que hayan surgido tantas preguntas. Muchas veces nosotros iniciamos los temas presuponiendo que en el secundario los han trabajado, que lo comprenden..... <i>(risas de los alumnos)</i>. Hay distintas explicaciones, diferentes ideas,</p> <p>P: De tantas preguntas y discusiones surgidas podemos ver que entre ustedes existen distintas formas de interpretar los mismos conceptos. Es muy importante que hayan surgido tantas preguntas.</p> <p>P: Surgió por ejemplo, la relación entre energía cinética y temperatura, en otros grupos se discutió la idea de los choques de las partículas y con las paredes del recipiente como presión... La presión la entendemos de esa manera.</p> <p>P: Podríamos pensar en un modelo de gas <i>(dibuja en el pizarrón)</i>.... En este modelo las partículas tienen gran movimiento, las partículas chocan y por tanto deberían perder energía, ¿qué pasa? VA:</p> <p><i>(El profesor hace una representación "microscópica" en el pizarrón)</i></p> <p>P: Podría ser, pero si yo acepto eso debería ver algún efecto sobre el volumen... pero no es así, las partículas en este modelo, se considera que chocan elásticamente sin perder energía. Podríamos pensar entonces, en un modelo de gas que es importante para explicar, cómo, partículas que tienen energía, con movimiento caótico. En algunos dibujos vi que habían ubicado las partículas en la periferia.... En realidad el modelo propone que están en continuo movimiento y se mueven aleatoriamente...</p> <p><i>(El profesor continúa con el desarrollo, utilizando un esquema que dibuja en el pizarrón, del modelo molecular aplicado al ejemplo).</i></p> <p>P: Estamos entonces ante un modelo que, por ejemplo, nos permite explicar las leyes empíricas de los gases ideales que ustedes ya conocen. Permite explicar las variaciones de P, V, T En segundo año hacen una revisión, es importante este modelo para explicar esas relaciones.</p>	4	
<p>P: Ahora vamos a analizar en el estado líquido, cómo es posible aplicar este modelo. Una de las preguntas que se les planteó en el diagnóstico que algunos de ustedes respondieron apuntaba a que explicasen la difusión del colorante líquido en un vaso con agua. Trataremos de analizarlo utilizando lo que estuvimos conversando acerca del modelo de partículas. ¿Cómo podríamos explicar que la gota de colorante colorea todo el líquido?</p> <p><i>(El profesor hace la demostración de la difusión de una gota de colorante en agua sobre el retroproyector).</i></p> <p>P: Recién decíamos que en el gas hay un movimiento intrínseco, propio de las partículas que lo conforman... Ahora deberíamos pensar este líquido, de una forma similar con una gota de colorante. Como explicamos se disuelve, se mezcla, pero cómo podemos explicar. <i>(Los alumnos discuten en pequeño grupo)</i></p> <p>P: <i>(Dibuja la representación microscópica de un recipiente con agua (l)).</i> Tenemos las moléculas más juntas.</p> <p>P: Hasta ahora, en los grupos han surgido ideas tales como "el colorante es soluble", "ocurre difusión", "se forman puentes de hidrógeno", pero ¿cómo ocurre, cómo justifico que ocurra la difusión?.</p> <p><i>(El profesor retoma la explicación porque de las discusiones en pequeño grupo no surge la explicación basada en un modelo de materia discontinua, para el ejemplo propuesto).</i></p>	5	I-3

<p><i>(El profesor retoma nuevamente una de las consignas de la prueba de lápiz y papel realizada por algunos de los alumnos antes de esta clase)</i></p> <p>P: Pensemos en el caso del perfume que difunde en el aire que ya hemos analizado anteriormente en otra clase. VA:</p> <p>P: Pasemos ahora al agua líquida. Análogamente las partículas están en movimiento, están más juntas en este caso, formando, la fase líquida, pero la diferencia con respecto a la situación anterior. <i>(Dibuja un recipiente conteniendo partículas muy juntas)</i></p> <p>P: Hay, igual que en el caso del perfume, evaporación. VA:.....</p> <p>P: Teniendo en cuenta que las partículas están en continuo movimiento... tengo energía... alguien propuso poner hielo al agua para que la difusión fuese más lenta ¿están de acuerdo?. La temperatura me da indicios de la energía cinética de las partículas</p>	6	
---	---	--

Cuadro A2.1. *Registro de la Actividad Introdutoria.*

DESARROLLO DE LAS CLASES	N°	Cód
<p>ACTIVIDAD N° 1</p> <p>P: ¿Cómo explicarían ahora la evaporación del agua en un recipiente abierto, a temperatura ambiente? La actividad siguiente de la hoja. Interesa ver cómo lo que estuvimos trabajando lo aplicamos ahora.....</p> <p><i>(Los alumnos discuten y escriben en las hojas de trabajo, agrupados de a dos o tres).</i></p> <p>AA: Las moléculas que se ubican en la superficie tienen las uniones intermoleculares que se rompen fácilmente entonces pasan al estado gaseoso</p> <p><i>(Se discutió en los grupos que la evaporación tiene efectos refrigerantes, que ocurre a cualquier temperatura).</i></p>	7	a1
<p>P: Supongamos que tengo un sistema formado por un vaso que contiene agua a 50 C. Las moléculas de la superficie que son las más rápidas, escapan. ¿Qué ocurre entonces con la temperatura del líquido?</p> <p>A: Disminuye.</p> <p>P: esto es importante, la evaporación tiene efectos refrigerantes, el sistema se va "enfriando". Ahora, ¿qué pasa si la temperatura del sistema es la ambiente?</p> <p>AA: se evapora más lento. Va a tardar más tiempo en evaporarse.</p> <p>P: qué pasa entonces, ¿la fase líquida queda a menor temperatura?</p> <p>VA: <i>(opinan en voz baja)</i></p> <p>P: Toma energía del ambiente... ..</p>	8	

Cuadro A2.2. Registro del desarrollo de la primera clase: Actividades 1 de la propuesta.

DESARROLLO DE LAS CLASES	N°	Cód
<p>ACTIVIDAD N° 2</p> <p>P: Ahora, supongamos el caso de la siguiente actividad, evaporación del agua en un recipiente cerrado (<i>aclara la diferencia con aislado</i>), a temperatura ambiente. Tratemos de describir lo que ocurre y de explicarlo utilizando el modelo de partículas. (<i>Trabajo en pequeño grupo</i>). (<i>Se puede apreciar la dificultad que tienen los alumnos mientras discuten para utilizar el modelo en sus explicaciones a pesar de ser continuamente instados a ello. Continuamente hacen referencia a lo observable</i>).</p>		
<p>P: Todos han mencionado que hay evaporación y condensación en la zona de las paredes, en zonas más frías, donde hay mayor pérdida de energía, se ve la condensación.</p> <p>P: el vapor que está en contacto con el líquido genera lo que llamamos presión de vapor. Esto es, que la presión de vapor estaría dada por la "cantidad" de partículas que están en este volumen y que ahora vamos a analizar si puede variar o no. Como ustedes decían están chocando contra las paredes, condensando.</p> <p>P: Pero también, algo que no surgió mucho...., en la superficie del líquido, si aceptamos que están en movimiento, pueden ser atraídas por las que están formando la fase líquida. O sea... se evaporó... hay condensación, muchos usaron la palabra ciclo. Hay que hacer una aclaración: no deberíamos pensar que se "evapora" y "condensa" como en un ciclo.</p> <p>P: ¿Cómo lo podríamos pensar en forma microscópica interpretar para no pensar que es así?</p> <p>A: Hay un equilibrio....</p> <p>A: ... simultáneamente</p> <p>P: Tengo moléculas en continuo movimiento, entonces es posible pensar que las partículas en la superficie del líquido pueden escapar y simultáneamente las partículas que están en la fase vapor pueden entrar al líquido. Simultáneamente, d se están dando la evaporación y la condensación. Estamos profundizando en esa explicación que ustedes estaban dando.</p> <p>P: ¿Qué observamos en cuanto a las propiedades macroscópicas?.</p> <p>VA:</p> <p>P: Claro, que tenemos el líquido, el vapor, y no hay variación.</p> <p>P: Si aceptamos el modelo cinético, no podemos pensar que quedó estático, sino que simultáneamente se están produciendo evaporación y condensación. Un grupo dijo por aquí que ocurren simultáneamente a la misma velocidad. Esto es fundamental para poder entender que hay reacciones..... Esta sería la explicación microscópica de cómo ocurre.</p>	9	a2-1
<p>P: la representación del proceso podría ser: $H_2O(l) \rightleftharpoons H_2O(g)$. La doble flecha nos está indicando que están ocurriendo los dos procesos simultáneos a la misma velocidad. No me dice nada de la cantidad de agua (l) o de agua (g).</p> <p>.....</p> <p>(<i>Algunos alumnos plantean, todavía aquí, que la evaporación y condensación se ven mejor en las partes frías de vidrio</i>)</p>	10	a2-1
<p>P: ¿Qué ocurre si cambio la masa de agua? Tengo dos recipientes con el diferente masa de agua (l) inicial ¿qué ocurrirá con la pv?</p> <p>VA:</p> <p>P: bien, no va a variar. O sea, la pv no depende de la masa de líquido presente.</p>	11	a2-4
<p>P: Ahora tengo el sistema a 50°C, en lugar de a temperatura ambiente.</p> <p>VA:</p> <p>A: Ahora sí varía.</p> <p>P: La pv será mayor que a 20°C.</p> <p>P: Resumiendo: cuando hay evaporación y condensación simultáneas a igual velocidad, la pv es función de la temperatura y no depende de la masa de agua. En este sistema, a T constante, hay un equilibrio dinámico.</p>	12	a2-3

Cuadro A2.3. Registro del desarrollo de la primera clase: Actividad 2 de la propuesta.

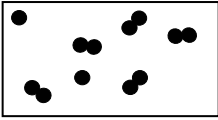
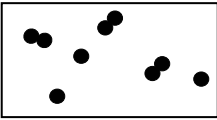
DESARROLLO DE LAS CLASES	N°	Cód
<p style="text-align: center;">Clase N° 2</p> <p><i>(Algunos alumnos están ingresando al aula durante los 10 primeros minutos de la clase).</i></p> <p>P: Vamos a ir recordando lo que estuvimos analizando la clase anterior. Habíamos caracterizado el equilibrio dinámico.... <i>(El profesor dibuja un recipiente cerrado conteniendo agua líquida)</i></p> <p><i>Escribe:</i> $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ y $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{g})$</p> <p>P: ¿Qué significaba esta doble flecha (refiriéndose a \rightleftharpoons, que es distinta a una doble flecha \rightleftharpoons)? P: ¿Esta otra qué me indica? VA: Que está en equilibrio..... P: ¿Qué significaba que están en equilibrio? VA: Que simultáneamente se estaban produciendo la evaporación y la condensación. P y AA: Bien,...simultáneamente están produciéndose,.....coexisten....., que las velocidades.....y..... P: ¿Qué pasaba con las cantidades? <i>(Mientras escribe en el pizarrón las principales ideas que van surgiendo)</i> VA:</p>	13	a2-1
<p>P: Los moles de gas contenidos en un determinado volumen, lo llamábamos presión de vapor. La presión de vapor está dada por esa concentración gaseosa, ¿de qué depende esa concentración gaseosa? VA: de la temperatura. P: de la temperatura P: Para una determinada temperatura tenemos una presión de vapor, ¿a más temperatura cambiaba?. Si, a 50°C, por ejemplo, el equilibrio seguiría "produciéndose" pero aumentaría lo que se evapora, entonces, aumenta el número de moles de gas. Al aumentar la temperatura tendremos otra presión de vapor, otro estado del sistema.</p> <p><i>(El profesor explica sobre la representación del recipiente)</i></p>	14	a2-2 a2-3
<p>P: Si la temperatura se mantiene constante y aumento la cantidad de agua líquida en el recipiente, ¿qué ocurre con la presión de vapor? VA: Nada P: Nada... la cantidad de agua líquida no influye en la pv. P: Esto es muy importante, fíjense que si aumento la cantidad de agua la pv no varía.</p>	15	a2-4
<p>P: Quiere decir que esto <i>(señalando la ecuación química)</i> ¿qué me está diciendo del recipiente?, ¿qué representa? VA: P: ¿Me está diciendo algo de la cantidad de agua líquida? VA: No. P: No me dice nada de la masa de agua líquida o gaseosa presente. La información que me da la ecuación química es acerca del proceso <i>(señala la representación del recipiente)</i> simultáneo, a iguales velocidades, y no me está diciendo nada de la masa de líquido ni de la de gas existentes en el sistema en equilibrio. La ecuación me está indicando el proceso que ocurre. Cuando analicemos luego la reacción química en un rato, recordemos pensar qué estoy representando cuando escribo la ecuación...</p>	16	a2-1

<p>P: recordemos, esto lo trabajamos ya hace algún tiempo, que la evaporación de agua es un proceso endotérmico, necesita energía ... Vamos a analizar ahora qué sucede si modifico algunas condiciones de este sistema.</p> <p>P: Dijimos que si aumentamos la temperatura, tendré otra pv también constante a esa temperatura que cómo será con respecto a la anterior? Si la T2 es mayor que T1, dijimos que había más evaporación, que predominaba... siempre en equilibrio dinámico, tendremos una cantidad distinta de número de moles gaseosos en el mismo volumen, por tanto tendré otra pv2, qué ocurre a esa temperatura ¿cómo es con respecto a la anterior?</p> <p>VA: mayor</p> <p>P: ... mayor. Ahora analicemos acá (<i>señalando la ecuación</i>), si yo estoy entregando energía, aumenta el movimiento, estoy incorporando, en esta ecuación (señala el lado izquierdo en la ecuación) energía... Eso hace que se desplace entonces hacia la derecha, que aumente la cantidad de agua gaseosa. Tengo otra pv, constante para esta temperatura.</p> <p>En este caso, como es una reacción endotérmica, el aumento de la temperatura hace que se desplace el equilibrio hacia acá (señala en la ecuación el lado derecho)</p> <p>P: ¿Está claro?, de lo contrario pregunten</p> <p>P: ¿Qué pasaría si la reacción fuese exotérmica?</p> <p>VA: El aumento de temperatura haría que el equilibrio se desplazara hacia la izquierda</p> <p>P: Bien ... Ese aumento de temperatura me haría desplazar en el otro sentido (<i>señala sobre la ecuación escrita en el pizarrón</i>)</p> <p>P: Aquí no hablamos de reactivos y productos, sino lo que escribimos a la derecha o a la izquierda en la ecuación... porque como coexisten en el recipiente ...</p>	17	a2-3
<p>P: Ahora van a trabajar ustedes. ¿Qué pasaría si en ese mismo recipiente (<i>señala dibujo del recipiente cerrado en el pizarrón</i>) el volumen que ocupa el gas se disminuye a la mitad? Anoten todo lo que creen que puede pasar. Si pongo 20 moles de agua líquida.... es importante que quede claro que ya desde el momento en que hay unas pocas moléculas integrando la fase gaseosa, ya es posible que se de condensación. Al principio la velocidad de evaporación es mucho mayor que la de condensación pero esta aumenta hasta que, en el equilibrio son iguales. Ahora si volvamos al problema que estaba planteado antes (<i>dibuja</i>). Estoy perturbando el sistema. El volumen lo reduzco a la mitad. ¿Qué cambia?. Discutan unos minutos.</p> <p>(<i>Los alumnos discuten en pequeños grupos. Se les pide que anoten las respuestas de cada uno</i>)</p> <p>P: Anoten todo lo que han estado discutiendo para tener claro qué dificultades encuentran....</p>	18	a2-4

<p>P: Bien, en los grupos han surgido diferentes respuestas e inquietudes.</p> <p>P: Recordemos lo fundamental que hemos visto: a determinada temperatura tenemos una p_v, esto es un número de moles determinado en determinado volumen. Si cambia la T, cambia la p_v (<i>escribe: $T p_v = f(n/V)$</i>).</p> <p>P: Se nos proponía reducir el volumen, varios grupos dijeron que aumenta la presión, aumenta el número de choques al haber menos espacio, chocan más frecuentemente con las paredes y con la superficie del líquido ¿qué es lo que va a producir? Al tener menos espacio ...</p> <p>VA: más condensación.</p> <p>P: Más condensación. Este equilibrio lo perturbé. Se produce más condensación. ¿Qué ocurre? Muchas moléculas serán atrapadas por el líquido, por lo que disminuirá la masa de agua gaseosa pero n/V de agua en la fase gaseosa se mantendrá constante ya que no cambia la temperatura, entonces la presión de vapor no cambia. (<i>Escribe en el pizarrón $n_1/V_1 = n_2/V_2$</i>). Sólo la temperatura me hace cambiar la presión de vapor</p> <p>Es importante que noten que el cociente n/V sigue siendo el mismo. Esto es fundamental. El sistema en equilibrio tiene la posibilidad de reaccionar ante una perturbación, para retornar al estado anterior, a determinada temperatura. (<i>Lo repite, escribiendo en el pizarrón</i>). Una perturbación, hay un momento de cambios, donde aumenta la velocidad de condensación con respecto a la otra. Cuando se restablece el equilibrio vuelvo a tener las condiciones iniciales. Ahora vamos a otro sistema en equilibrio, una reacción química. Pero que quede claro entonces esto: una perturbación, a temperatura constante, es contrarrestada por....., el sistema responde para volver a.....</p> <p>P: Por ejemplo el pH en los organismos vivos... Hay sistemas en equilibrio dinámico que permiten que pueda acomodarse la perturbación. Todas estas características... (<i>reitera algunas características de los sistemas en equilibrio dinámico aplicados al sistema de evaporación de agua</i>).</p> <p>.....</p> <p>(<i>Hace referencia a continuación a los sistemas buffer de los organismos vivos</i>).</p>	19	
---	----	--

Cuadro A2.4. Registro del desarrollo de la segunda clase: Actividad 2 de la propuesta.

DESARROLLO DE LAS CLASES	N°	Cód
<p>ACTIVIDAD N° 3</p> <p>P: Todo lo que hemos analizado hasta ahora en este sistema formado por agua (l) en equilibrio con agua (v) lo vamos a aplicar al estudio de otro sistema. Si pongo Cu con HNO₃ se forma un gas, el dióxido de nitrógeno (<i>escribe la fórmula NO₂</i>), que es de color pardo oscuro (<i>hace la experiencia</i>). Lentamente se produce en el sistema una dimerización (<i>termina de escribir la ecuación</i>) del NO₂, pardo, a N₂O₄ que es incoloro.</p> $2 \text{NO}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4 (\text{g})$ <p>Esto que era oscuro, se aclara, el sistema se aclara un poco porque tengo una mezcla de los dos gases, están coexistiendo, por eso el color... Otro dato: la reacción directa es exotérmica y el sistema de reacción contiene una mezcla de ambos óxidos que coexisten, en equilibrio dinámico... Esto (<i>señalando la doble flecha en la ecuación de dimerización</i>) me indica que dos moléculas de NO₂ forman una de N₂O₄ y simultáneamente, una molécula de N₂O₄ se descompone para dar dos moléculas de NO₂.</p>	20	a3-1
<p>Teniendo en cuenta esta información predigan cómo resultará este sistema a T₁ < T ambiente, y a T₂ > T ambiente. Se animan a predecir qué puede pasar con el color del sistema? A temperatura ambiente tengo una mezcla y cambio la temperatura</p> <p><i>(Los alumnos discuten en grupos)</i></p> <p>P: A alta temperatura, para dónde se desplaza el equilibrio? (<i>Retoma el ejemplo del agua, señalando sobre la ecuación</i>) Agrego energía, el sistema responde para oponerse a ese cambio</p>	21	
<p><i>(Se realiza la experiencia a las tres temperaturas. Se discuten en gran grupo los tres casos y se re-interpretan las observaciones).</i></p> <p>P: Ahora quiero que dibujen, después de observar, lo que podría ser una representación molecular de lo que está ocurriendo a una temperatura T₁ menor que la temperatura ambiente y a otra T₂ mayor que la ambiente. Tengo un recipiente en el cual coloco una sustancia, el NO₂ que se sabe que reacciona dando un dímero, el N₂O₄, que podríamos representarlos también de esta manera:</p> $\text{NO}_2 \bullet \quad \text{N}_2\text{O}_4 \bullet\bullet$ <p>El sistema está en equilibrio. ¿Cómo se lo imaginan, cómo podrían justificar lo que ocurre a las tres temperaturas?.</p> <p><i>(Discusión en pequeño grupo)</i></p> <p>P: A temperatura ambiente tengo una mezcla, a T₁ tendré otra... Analicemos a una temperatura alta, ¿hacia dónde se desplaza el equilibrio?. Aquí, a diferencia de en el sistema del agua, la reacción directa es exotérmica, entonces si agrego energía, que se espera que suceda?</p> <p><i>(Dibujos en el pizarrón. En el pizarrón de al lado tiene todo el desarrollo realizado para el caso del agua)</i></p>	22	a3-2

<p>P: En algunos grupos veíamos que si agregábamos NO₂ en el sistema a T1, primero predomina la velocidad de la reacción de dimerización y luego se volverá a restablecer el equilibrio. Cada una de estas representaciones (<i>dibujos</i>) es una foto instantánea..... Se producen las dos reacciones....</p> <p>P: Se va a formar el dímero hasta llegar a tener nuevamente constante una relación de concentraciones. En el caso anterior hablábamos de la presión de vapor, ahora, de la relación entre las concentraciones. Enseguida veremos, para este sistema como se expresa esta constante de concentraciones... dependiendo del sistema.</p> <p>P: Si agrego NO₂, se va a desplazar el equilibrio hacia la derecha para mantener la relación constante. De qué va a depender esa constante?. Igual que en el caso del agua, la $p_v = f_c(T)$, en este caso la constante variará también sólo con la temperatura. La relación entre las concentraciones para este sistema se expresa de la siguiente manera. El producto de la concentración de las sustancias de la derecha de la ecuación, sobre las de la izquierda, elevadas a los coeficientes correspondientes que coinciden con el coeficiente estequiométrico de cada especie. K_{eq} es el producto de las concentración de lo que escribo a la derecha en la ecuación/producto de las concentraciones de lo que escribo a la izquierda en la ecuación. (Escribe en el pizarrón la expresión correspondiente al sistema de los óxidos de nitrógeno).</p> <p>P, VA: (Algunos alumnos dibujan en el pizarrón con ayuda de los demás y del profesor).</p>	23	a3-3
<p>P: Supongamos que cada ● representa un mol de NO₂ y cada ●●, un mol de N₂O₄, y el volumen del recipiente de 1 litro</p> <p>P: Ustedes saben que la concentración es n/V. (Escribe en el pizarrón: $K = \frac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2} = \frac{(n_{N_2O_4} / V)}{n_{NO_2}^2 / V^2} = \frac{(n_{N_2O_4} / V)}{n_{NO_2}^2} \cdot V$ (Acá surgen dudas sobre el V ocupado por cada gas). (Se aplica esta expresión para calcular la constante del sistema representado en el dibujo) (Continúa la discusión))</p> <p><i>Representaciones de los alumnos en el pizarrón</i></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>K1= 5/4</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>K2= 3/9</p> </div> </div>	24	

Cuadro A2.5. Registro del desarrollo de la segunda clase: Actividad 3 de la propuesta.

DESARROLLO DE LAS CLASES	N°	Cód
<p>ACTIVIDAD N° 4</p> <p>P: En la hoja de clase les aparecen dos ecuaciones correspondientes a procesos que pueden resultar bastante conocidos para algunos. También lo trabajamos en el curso introductor. La descomposición del carbonato de calcio en un horno de cal, se forma cal viva y dióxido de carbono (<i>escribe en el pizarrón</i>)</p> $\text{CaCO}_3(\text{s}) \longrightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + \text{CaO}(\text{s})$ <p>y la descomposición del carbonato de calcio en un sistema cerrado $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{CaO}(\text{s})$</p> <p>La representación (<i>señalando la primera ecuación</i>) corresponde a una reacción endotérmica en la que se forma cal viva y $\text{CO}_2(\text{g})$. En unos minutos discutan y escriban en las hojas las diferencias y similitudes entre los dos sistemas representados, lo que está ocurriendo en cuanto a las características de uno y otro sistema. Expresen además, la constante para el segundo sistema.</p> <p><i>(Discusión grupal)</i></p> <p>P: En el primer caso la mayoría coincidió en que el recipiente está abierto</p> <p><i>(El docente dibuja en el pizarrón).</i></p> <p>P: En el segundo caso, muchos han reconocido que tiene que haber un recipiente cerrado en el que tengo carbonato que se empieza a descomponer y varios preguntaron si puede el gas reaccionar con la cal</p> <p>.....</p> <p><i>(El docente hizo referencia a la carbonatación de la "bolsa de cal").</i></p> <p>P: Muchos también dijeron que se están produciendo ambos procesos simultáneamente a la misma velocidad.</p>	25	a4-1
<p><i>(El docente escribe $K_{eq} = [\text{CO}_2] \cdot [\text{CaO}]/[\text{CaCO}_3]$)</i></p> <p>P: Aquí es necesario hacer una aclaración, recuerdan que cuando analizábamos, en el caso del agua, que la masa de agua líquida no influye en la presión de vapor, las concentraciones de CaO y CaCO_3 son constantes, ya que el número de moles en un determinado volumen, para un sólido o un líquido puros es constante y por tanto tampoco influyen en el valor de la K_{eq} para este sistema.</p> <p>P: El número de moles de óxido de calcio en un determinado volumen, esto es, la concentración del sólido puro, es la densidad..... Cuando aumento la masa de sólido puro también aumenta el volumen que ocupa por que la relación m/V es propia de esa sustancia. Por lo que la K_{eq} es sólo función de la concentración de CO_2 A una temperatura determinada entonces $K_{eq} = [\text{CO}_2]$ es constante.</p> <p>.....</p> <p><i>(El docente deja planteado, para pensar: la relación entre $[\text{CO}_2]$ y la p_{CO_2}).</i></p> <p>.....</p>	26	a4-2

Cuadro A2.6. Registro del desarrollo de la segunda clase: Actividad 4 de la propuesta.

Anexo 3. Datos de los estudiantes del grupo de clase

Tabla A3.1. *Datos estudiantes del grupo de clase*

	N° lista	N° HA	Edad	Sexo	Procedencia		Estudios secundarios		
					Ciudad	Provincia	Título	Año egreso	Promedio
1	2	38	18	M	Olavarría	BA	A	año anterior	7,92
2	4	31	19	M	Tres Arroyos	BA	B	2 años antes	7,23
3	6	6	19	M	Allen	RN	C	año anterior	7,59
4	7	42	20	M	Tandil	BA	C	año anterior	6,02
5	9	21	19	F	Tandil	BA	C	año anterior	7,66
6	12	42	19	M	Mar del Plata	BA	C	año anterior	7,32
7	13	10	18	M	Olavarría	BA	B	año anterior	8,00
8	14	18	19	F	Tandil	BA	C	2 años antes	7,73
9	15	8	19	M	Darregueira	BA	B	año anterior	8,66
10	20	10	19	M	Mar del Plata	BA	C	año anterior	7,58
11	23	29	19	M	Lobería	BA	B	año anterior	7,95
12	27	32	18	M	Rauch	BA	C	año anterior	8,20
13	28	43	17	M	Punta Alta	BA	A	año anterior	7,67
14	29	41	18	M	Olavarría	BA	C	año anterior	9,23
15	30	26	19	F	Ayacucho	BA	B	año anterior	9,01
16	32	17	18	F	Mar del Plata	BA	C	año anterior	8,78
17	33	35	19	F		BA	B	año anterior	7,00
18	35	33	18	M	Mar del Plata	BA	C	año anterior	8,04
19	36	36	18	M	Tres Arroyos	BA	C	año anterior	7,35
20	37	14	18	M	Cnel Dorrego	BA	A	año anterior	7,26
21	38	3	18	F	Necochea	BA	A	año anterior	7,70
22	39	43	18	F	Tandil	BA	C	año anterior	8,57
23	41	36	18	M	Bolivar	BA	C	año anterior	7,15
24	43	18	18	M	Rauch	BA	B	año anterior	8,47
25	47	12	18	F	Tandil	BA	C	año anterior	7,28
26	48	32	19	M	Mar del Plata	BA	B	año anterior	8,03
27	49	37	21	M	Mar del Plata	BA	B	+ 2 años antes	8,38
28	50	9	18	F	Miramar	BA	B	+ 2 años antes	7,91
29	51	21	17	M	Cnel Suárez	BA	C	año anterior	7,45
30	52	7	18	M	Mar del Plata	BA	A	año anterior	7,29
31	53	30	18	F	Mar del Plata	BA	C	año anterior	8,60
32	54	4	18	F	Pergamino	BA	A	año anterior	8,80
33	56	33	20	M	Darregueira	BA	B	2 años antes	6,80
34	57	17	22	F	Mar del Plata	BA	C	año anterior	8,07
35	58	31	18	M	La Plata	BA	C	año anterior	6,89
36	60	13	20	M	Coronel Vidal	BA	B	2 años antes	7,54
37	61	13	19	M	Bahía Blanca	BA	C	año anterior	8,02
38	65	11	18	F	Tandil	BA	C	año anterior	6,91
39	66	11	18	F	Olavarría	BA	B	año anterior	7,56
40	67	39	18	F	Tandil	BA	C	año anterior	8,83
41	70	38	19	M	Madariaga	BA	A	año anterior	8,23
42	71	15	18	M	Mar del Plata	BA	A	año anterior	8,58
43	72	8	19	M	Mar del Plata	BA	C	2 años antes	6,81
44	73	29	21	M	Quilmes	BA	C	+ 2 años antes	7,23

45	74	7	18	M	Azul	BA	C	año anterior	8.20
46	75	1	18	M	Bolívar	BA	C	año anterior	7,66
47	76	40	19	M	Neuquén	N	B	año anterior	8,68
48	77	25	18	F	C. Patagones	BA	C	año anterior	8,66
49	81	44	18	M	Neuquén	N	C	2 años antes	8.00
50	82	9	18	F	Mar del Plata	BA-E	A	año anterior	7,94
51	84	20	18	F	25 de Mayo	BA	C	año anterior	8.34
52	85	25	20	M	Coronel Vidal	BA	B	2 años antes	7,28
53	86	37	19	M	Orense	BA	B	2 años antes	7,41
54	87	39	18	F		BA	C	año anterior	6.70
55	89	28	19	M	Mar del Plata	BA	A	2 años antes	5,94
56	90	14	17	M	Dorrego	BA	B	año anterior	7,18
57	91	28	19	M	Tandil	BA	B	año anterior	7,51
58	92	20	18	F	Mar del Plata	BA	A	año anterior	7,61
59	94	4	17	F	Tandil	BA	C	año anterior	8,20
60	96	41	19	M	Olavarría	BA	A	2 años antes	7,89
61	97	35	19	F	Tandil	BA	C	año anterior	7,17
62	98	30	20	F	Tandil	BA	B	2 años antes	7,12
63	100	40	21	M	Azul	BA	C	2 años antes	6,79
64	103	6	18	F	Cnel Pringles	BA	C	año anterior	9,02
65	106	27	22	F	Daireaux	BA	C	2 años antes	6,92
66	107	44	21	M	C. Rivadavia	CH	C	año anterior	7,20
67	108	3	18	F	Tapalqué	BA	A	año anterior	8.1
68	109	24	18	M	Olavarría	BA	A	año anterior	7.13
69	110	1	19	F	Juárez	BA	A	año anterior	8.36
70	111	26	18	M	Ayacucho	BA	B	año anterior	7.91
71	113	34	20	M	Punta Alta	BA	C	año anterior	6.77
72	115	12	19	F	Tandil	BA	C	año anterior	7.78
73	116	27	18	M	Mar del Plata	BA	A	año anterior	7.33
74	118	22	17	M	Las Flores	BA	C	año anterior	8,45
75	120	15	19	F	Bahía Blanca	BA	A	2 años antes	7,43
76	124	34	18	M	Neuquén	N	C	año anterior	7.12
77	125	22	18	M	Las Flores	BA	A	año anterior	7.61
78	126	24	19	M	Plaza Huinca	N	C	año anterior	8,12
79	130	19	19	M	Ayacucho	BA	B	año anterior	9.27
80	131	19	19	M	Ayacucho	BA	B	año anterior	8,85

HA: hoja de alumno; M: masculino; F: femenino; BA: Buenos Aires; N: Neuquen; CH: Chubut; A: títulos que corresponden a carreras con fuerte formación físico – matemática; B: títulos que corresponden a formaciones vinculadas con el campo profesional de la carrera universitaria elegida; C: otros títulos.

Anexo 4. Transcripciones de cuatro entrevistas

ENTREVISTA N° 1. Seudónimo: MARÍA.

E: Entrevistadora

A: Alumna

- E: ¿Es la primera vez que estudiás en la Universidad...?**
A: Sí, esta es la carrera que elegí, es la primera vez que vengo a la Universidad
- E: Respecto a las materias que has cursado hasta ahora, ¿encontrás diferencias con la escuela secundaria?**
A: Sí. Es un gran cambio. En el estudio no tiene nada que ver. Empecé a estudiar cuando llegué acá, me di cuenta que en la secundaria nunca estudié. Es todo distinto. Acá no te lo hacen sentir tanto al cambio. Son muy accesibles. Cualquier problema que tengas sabés que podés hablarlo...
- E: En cuanto a los contenidos, ¿hubo algunos muy distintos, muy nuevos?**
A: Te voy a explicar. Yo química nunca tuve. Tuve Físico - Química en la escuela, así que acá era todo nuevo.
- E: ¿Qué viste en Físico - Química?**
A: Vectores...cosas así. Muy por arriba. Empecé de cero.
- E: En Química Biológica, ¿qué temas ves como más importantes, más relacionados con el resto de la carrera?**
A: Qué temas?...En realidad todo se relaciona, la primer cursada que hicimos de química es la base nos va a servir porque todo se relaciona con todo.
- E: Particularmente hablando de las reacciones químicas, cómo se producen...**
A: Estamos viendo el metabolismo.....A esta altura relacionás Biología con Química ...todo con todo...
- E: Elegí una reacción química que te interese, te acuerdes, te llame la atención y proponela**
A: ... No sé.
- E: Bueno, te propongo yo una**
A: Bueno, más fácil
- E: Una clásica. La de producción de amoníaco, que podríamos representarla de alguna manera, por ejemplo así: $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$.**
A: Es un equilibrio...
- E: Qué querés decir con eso?**
A: La ecuación me está indicando que el nitrógeno más tres moles de hidrógeno van a formar dos de amoníaco. Lo mismo pasa cuando se disocian dos moléculas de

amoníaco, nos van a dar tres de hidrógeno y una de nitrógeno. La ecuación de equilibrio la está indicando acá, la doble flecha.

11. E: Cuando decís dos de amoníaco, tres de ¿a qué te estás refiriendo?

A: Acá me está indicando los moles cómo reaccionan, no la cantidad. Esto es lo que se necesita para formar dos moléculas de amoníaco.

12. E: ¿Cómo te imaginás esto produciéndose en la planta industrial?

A: ¿Te lo dibujo?

13. E: Como quieras. Yo quiero instalar una planta de producción de amoníaco. Vos sabés que el proceso es como este (señalando hacia la ecuación). ¿Qué requerirías para empezar a trabajar?

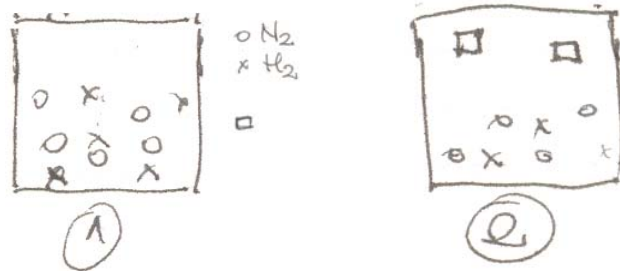
A: Necesitaría nitrógeno e hidrógeno y en la medida en que quisiera producir más amoníaco tendría que ir agregando más de los dos... Pondría los dos gases en la "máquina de producción" para que puedan reaccionar y así producir amoníaco, que lo tendría que sacar, sino el amoníaco se volvería a disociar formando nuevamente nitrógeno...

14. E: ¿Cuándo se volvería a disociar?

A: Se volvería a disociar,... cuando haga falta nitrógenoEl equilibrio va a mantenerse siempre, entonces cuando haya un exceso de amoníaco se va a empezar a formar más nitrógeno e hidrógeno, manteniendo el equilibrio

15. E: ¿Te animás a dibujar un recipiente en el que pudieses representar las moléculas.....?

A: Echo el N_2 y el H_2 y van a formar el NH_3 ...



(Mientras dibuja) Lo que te decía es que si yo necesito producir más amoníaco voy a ir sacando amoníaco porque así se sigue produciendo para mantener el equilibrio.

16. E: "Tratando de mantener el equilibrio...", ¿cómo me lo explicarías?

A: Que se mantengan las proporciones constantes..., no eso no lo tengo que decir porque no está bien....

17. E: Me decís que primero tengo los dos gases: nitrógeno e hidrógeno.... obtengo amoníaco y voy a tener que irlo eliminando, ¿por qué?

A: Por que si lo deajo ahí adentro, el sistema va a tender a mantenerse. Si lo deajo, va a tender también a formar hidrógeno y nitrógeno. Hay un equilibrio constante que se mantiene. Si yo sé que se acaba el amoníaco, el equilibrio va a desplazarse hacia la derecha para mantener ese equilibrio constante

18. E: ¿Y si no lo altero?

A: Se va a mantener. La reacción se va a mantener. Va a formarse el nitrógeno y el hidrógeno y va a formar amoníaco y el amoníaco se va a estar disociando formando nitrógeno e hidrógeno.

19. E: ¿De qué otra manera podría alterar ese equilibrio?

A: puedo alterar el nitrógeno y el hidrógeno. Sacar nitrógeno,...va a tratar siempre de seguir manteniendo el equilibrio. Si saco los reactivos, al revés, la ecuación se va a desplazar hacia la izquierda.

20. E: Si yo no quisiera tocar los componentes del sistema, ¿tendría alguna forma de perturbar?

A: Si, cambiando la presión, la temperatura. Si cambio la temperatura, la constante se va a alterar.

21. E: ¿Qué implica que se altere la constante?

A: Que va a cambiar esta producción. Ya no va a ser como antes, va a cambiar el equilibrio.

22. E: ¿Qué es lo que cambia?

A: No sé, según como sea la reacción, va a tener menos producción de nitrógeno o va a ser más lento o no se va a disociar tanto el amoníaco...

23. E: Va a ser más lento...

A: Dejalo, desgrabá esa parte....

24. E: Estoy tratando de relacionar con la temperatura y la constante...

A: Aumenta la temperatura, aumenta la energía cinética, los choques y eso va a producir más reacciones...

25. E: En un sistema así como este: *(la entrevistadora presenta una tarjeta con la ecuación: $N_2(g) + H_2(g) \rightleftharpoons NH_3(g)$: Ec. 1). ¿Cómo aplicarías lo del un aumento de temperatura?*

A: Y, aumentaría la energía cinética de las moléculas de nitrógeno e hidrógeno y formarían más amoníaco... Mmm... no me convence mucho.

26. E: Me podrías decir alguna diferencia entre lo representado aquí: *(la entrevistadora escribe, debajo de la Ec. 1: $(N_2(g) + H_2(g) \rightarrow NH_3(g)$: Ec. 2) y esto otro? (señalando la Ec.1).*

A: Este último sistema no va a ser un equilibrio porque la reacción va a ser el nitrógeno con el hidrógeno, que forman amoníaco pero el amoníaco no va a formar nitrógeno e hidrogeno. Es una reacción, no es un equilibrio.

27. E: Si yo ahora te propusiera que realizases un proceso como el representado por la segunda ecuación. ¿Sería posible? ¿Cómo?

A: En un recipiente poner nitrógeno e hidrógeno, en un recipiente abierto, porque en un recipiente cerrado se volvería a formar amoníaco.

28. E: Cuando te preguntaba si había otra manera de perturbar el equilibrio vos mencionaste, cambiar la presión. ¿Cómo harías para cambiar la presión?

A: (La entrevistada dibuja (Dibujo 3) en la misma tarjeta, al lado de los Dibujos 1 y 2)



29. E: Qué pasaría en ese caso con el equilibrio?

A: Se producirían las reacciones más rápido pero el equilibrio se mantendría constante.

30. E: Qué me querés decir con eso.

A: Que se mantendría el equilibrio...no lo modificaría. Por ahí aumentaría la velocidad. Irían más rápido las reacciones pero el equilibrio sería el mismo.

31. E: Qué habría que hacer para que no se mantuviera el equilibrio?

A: Y... la temperatura, ahí si va a cambiar el equilibrio, se va a formar más producto o va a haber más reactivos. O sea, va a cambiar...

32. E: Te planteo otro caso: $\text{NH}_4\text{Cl (s)} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \text{ (g)} + \text{HCl (g)}$. Aquí el proceso de descomposición de la sal es endotérmico, si el sistema está en equilibrio. Qué me podrías decir del sistema?

A: es igual que el otro, el anterior. Va a estar produciéndose constantemente el amoníaco y la sal.

33. E: Y en el recipiente, ¿qué especies hay?, ¿cuánto hay de cada una?

A: Está la sal y están los gases... Cuanto hay de cada uno no puedo saber. La ecuación acá no me está diciendo las cantidades que hay en el recipiente.

34. E: ¿Qué otra información puedo tener sobre ese sistema?

A: Que es endotérmico, que a esa temperatura se van a estar formando tantos moles de amoníaco.... a esta temperatura el equilibrio va a ser así, a otra temperatura va a cambiar.

35. E: ¿En qué consiste esa diferencia entre el sistema a una temperatura y a otra?

A: En que se va a formar más sal.

36. E: Ahora supongamos que tengo el sistema a determinada temperatura y le agrego más sal...

A: Se van a formar más amoníaco y más cloruro de hidrógeno

37. E: Para cambiar un poco de tema, me gustaría que me cuentes cómo te has planteado vos el estudio en las diferentes materias

A: Para estudiar, tengo primero que entender y después llevarlo a la práctica. Con este tema, Equilibrio, los dibujitos me sirvieron para entenderme, para darme una idea. Primero lo entiendo, si no lo entiendo no lo puedo hacer.

38. E: ¿Qué clase de dibujitos hacés?

A: como el del amoníaco, representando los moles...

39. E: ¿Hay diferencias entre cómo te planteas el estudio en una u otra materia?

A: No. Todo lo saco por razonamiento.

40. E: Respecto del trabajo de laboratorio, ¿te ayuda o no?, ¿a qué?

A: Si te ayuda, una cosa es que te cuenten cómo funciona algo y otra es que lo veas. para entenderlo, te queda más grabado. Si, sirve.

ENTREVISTA N° 3. Seudónimo: JAVIER.

E: Entrevistadora

A: Alumno

1. E: **Hola. Mi nombre es Adriana. Vos sos alumno de la Facultad...**
A: Sí, de primer año de la Facultad de Ciencias Veterinarias. Estuve en Mar del Plata en la Facultad de Ciencias Exactas estudiando Biología...
2. E: **¿Y qué pasó?**
A: Estuve dos años y... cursé algunas de las materias pero no aprobé finales, así que no pude pedir equivalencias. Después me pasé acá.
3. E: **¿Cómo vas con las materias de primer año? ¿Qué materias estás haciendo?**
A: Las voy llevando, ...estoy haciendo, además de Química Biológica, Biología celular y Anatomía.
4. E: **¿Terminás con las tres ahora?**
A: Si, en este primer cuatrimestre
5. E: **A mi me interesaría saber qué contenidos de los que se están desarrollando en las cátedras de primer año a vos te han resultado nuevos...**
A: La parte de gases, no vi en Mar del plata. Anatomía no tanto y Biología si. La sistémica es más desarrollada.
6. E: **En cuanto a los contenidos fisico - químicos sólo gases...**
A: La cursada no la aprobé, me fue mal en el último parcial.
7. E: **¿Qué contenidos de Química te parecen más interesantes?**
A: La parte de soluciones, sales, que en la escuela secundaria lo veía como algo imposible, ahora me doy cuenta que no es así. Lo que tiene química es que cuando vas haciendo las cosas y te van saliendo es como que te va gustando. A mi me pasa eso. Termoquímica es medio...lo tengo ahí. Eso es en lo que me fue mal en el parcial en Mar del Plata.
8. E: **¿Lo tenés ahí por eso?**
A: Claro, si ese es el punto...
9. E: **¿No terminás de entender?**
A: Si, ahora lo estoy agarrando un poquito pero me costó entenderlo
10. E: **Hablando específicamente de Química Biológica ¿cuáles te parecen los temas básicos más relacionados con el resto de la carrera?**
A: Soluciones pienso que es fundamental, equilibrio químico. Soluciones creo que es fundamental.
11. E: **El estudio de las reacciones químicas en general ¿crees que resulte útil? ¿Para qué se estudian distintos tipos de reacciones, cómo se producen, etc.?**

A: Eso en Veterinaria es lo que se usa en Farmacología. Hay que aprender los elementos químicos y las combinaciones para llegar a esos compuestos que sirven como medicamentos.

12. E: ¿Me podés dar un ejemplo de una reacción química que se te ocurra?

A: La del agua

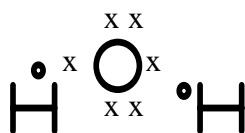
13. E: A ver...

A: (Escribe) $\frac{1}{2} O_2 + H_2 \rightarrow H_2O$

14. E: ¿Por qué te parece importante?

A: Porque es la más básica. Creo que es la que se aprende primero, la más fácil. Y, porque sé cómo se produce.

15. E: Cómo te imaginás que se produce?



A: (El entrevistado dibuja) Estos (xx) son pares de electrones, uno se comparte con el H, otro con el O. El O tiene seis electrones en la última órbita y el H uno. Como cada elemento para llegar a ser estable se quiere parecer al gas noble más cercano que tiene 8 electrones

en la última órbita...; y el H, el gas noble más cercano es el He, entonces comparten un electrón.

16. E: A ver si entiendo. ¿Para vos es muy básica esta reacción química porque la podés interpretar de una manera sencilla?

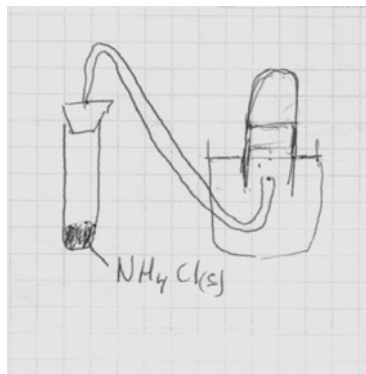
A: Claro, es una reacción química que puede dar pie para entender otras. Son dos átomos de elementos comunes: H y O.

17. E: Si te plantease por ejemplo una ecuación química como esta: (La entrevistadora escribe en la tarjeta: $NH_4Cl (s) \rightarrow NH_3 (g) + HCl (g)$). Me interesaría que me contaras cómo te imaginás que podrías conseguir la reacción química que representa, en el laboratorio?

A: ¿Cómo interpreto que pasa?

E: No, cómo harías vos para hacerla en el laboratorio? ¿Qué necesitarías?

A: (Hace el Dibujo 1)



Bueno, primero sé que un mol de NH_4Cl me produce un mol de NH_3 y un mol de HCl . Me va a aumentar este volumen de gas por la producción de estos dos gases (NH_3 y HCl) y ese volumen va a equivaler a la cantidad de moles. Yo según la reacción se cuanto me va a producir más o menos. Sabiendo la cantidad de moles que tengo acá (del lado izquierdo) yo sé que me tiene que llegar a producir tanta cantidad de moles de gas, de los dos. Es una forma de comprobar que el gas se forma a partir del cloruro de amonio.

18. E: ¿Qué cantidad tendría que formarse?

A: Si por ejemplo pongo un mol de cloruro de amonio, me va a producir un mol de cada uno de estos gases.

19. E: (La entrevistadora señala la ecuación) $NH_4Cl(s) \rightleftharpoons NH_3(g) + HCl(g)$

Acá tenés una representación similar a la anterior. ¿Podrías decirme alguna similitud o diferencia entre estos dos sistemas?

A: En el primer sistema el gas producido se escapa pero si yo tuviera tapado el tubo de ensayo, estaría en equilibrio, simultáneamente estarían pasando moléculas al estado gaseoso, tanto como del gaseoso al sólido, hasta producirse un equilibrio.

20. E: Hasta producirse un equilibrio; a ver si te entiendo un poco mejor...

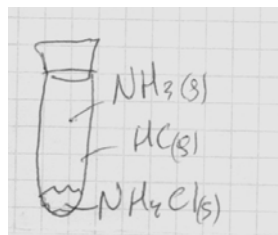
A: En un sistema cerrado, el gas que se produce no se escapa, va a llegar un momento que se produce determinada cantidad de gas y ese gas empieza a volver al sólido. Se está produciendo un equilibrio entre el gas y el sólido. Es una reacción de equilibrio.

21. E: ¿Y si tuvieses que conseguir en el laboratorio un sistema como este?

(Refiriéndose al sistema representado por:



A: Un tubo de ensayo, se tapa... (Hace el Dibujo 2)



22. E: ¿Qué materiales hubieses necesitado entonces?

A: Tubo de ensayo, cloruro de amonio... Puede haber sido también cualquiera de estos dos gases (amoníaco, cloruro de hidrógeno)...y se va a depositar sólido. El equilibrio se va a desplazar para producir sólido hasta llegar a l equilibrio.

23. E: ¿Cómo te das cuenta cuando se llega al equilibrio?

A: No sé.

24. E: Vos recién mencionaste que el equilibrio se desplazaba hacia la formación de sólido. Suponé que el sistema ya ha alcanzado el equilibrio ¿cómo podrías lograr perturbarlo?

A: Dependiendo si es exo o endotérmico se puede aumentar o disminuir la temperatura...

E: La descomposición de cloruro de amonio es endotérmica...

A: Le entrego energía entonces aumenta la cantidad de NH_3 y HCl hasta llegar nuevamente al equilibrio.

25. E: Qué diferencia o similitud tendría este sistema en equilibrio con el anterior?

A: Eeh,... La reacción de formación de gases se ve favorecida por que le entrego temperatura. Logro que se descomponga más...

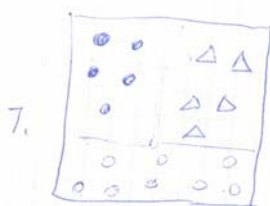
26. E: Te animás a escribir la constante para ese equilibrio?

A: (Escribe) $K = \frac{[NH_3] \cdot [HCl]}{[NH_4Cl]}$

27. E: Si pudieras ver lo que está ocurriendo a nivel molecular, ¿qué verías?, ¿te animás a dibujarlo?

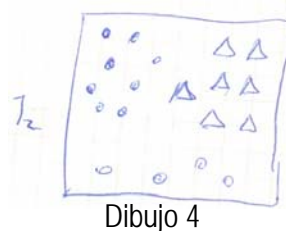
A: Tengo una determinada cantidad de moléculas de cloruro de amonio sólido y una determinada cantidad de moléculas de gas de un gas y del otro.

(Mientras dibuja) La cantidad de cada uno depende de la temperatura y de la cantidad que yo haya puesto inicialmente. O sea, la relación que hay entre los tres no va a ser de 1 mol, 1 mol, 1 mol. Eso depende de la temperatura... que haya más cantidad de gas o de sólido. (Aclara sobre la ecuación que, las esferas claras representan moléculas de NH_4Cl , las esferas negras representan HCl y los otros símbolos son moléculas de NH_3)



28. E: Esto ¿podría ser como una foto microscópica?...

A: Claro. Si yo le aumento la temperatura voy a tener menos moles de sólido y más de gas. No se me van a formar cualquier cantidad de esto (NH_3) ni de esto (HCl).



29. E: Estas representaciones (refiriéndose a los Dibujos 3 y 4), ¿qué diferencia tienen?

A: La temperatura y las concentraciones de cada uno.

30. E: ¿Como te imaginas una de estas representaciones en el tiempo? Suponé que armás este sistema en el laboratorio y lo tenés a temperatura constante, ¿que te imaginás que sucede? ¿Qué verías?

A: Que un mol de este se va a juntar con un mol de este para formar sólido y que un mol de sólido va a pasar a gaseoso, así continuamente. Un equilibrio dinámico sería... No es que esta el gas ahí y el sólido acá y los dos gases, se están combinando continuamente y se está descomponiendo el sólido continuamente.

31. E: ¿Ves esto relacionado con algún tema en otra materia? ¿Las ideas y conceptos los ves relacionados con otros temas de los que has visto hasta ahora?

A: Hoy vimos respiración aeróbica y anaeróbica... Pusimos levadura y agua tibia y el dióxido de carbono que se iba formando lo.... Pero hasta ahora no hemos visto nada...

32. E: ¿Qué diferencia existe entonces a tu entender, macroscópicamente, entre este sistema (refiriéndose al representado en el Dibujo 1) y este otro (refiriéndose al representado en el Dibujo 2)?

A: Esta reacción es irreversible porque el gas se pierde, es un sistema abierto. Esta reacción es reversible, o sea, está continuamente produciéndose tanto para un lado como para el otro. Es un sistema cerrado.

33. E: Querés agregar algo más

A: No.

34. E: Me interesa esta parte de la Química, pero en el contexto de lo que vos estás estudiando, por eso quisiera saber ¿de qué forma te has planteado el estudio...?, ¿Cómo te planteás el estudio a nivel universitario?

A: Es distinto para todas las materias. Biología es para estudiar, leer y entender y Química es para entender. Me imagino haciendo ejercicios y entendiendo lo que pasa molecularmente y ya lo puedo tener...Biología mucho ejercicio no se puede hacer, es mucha lectura y entender. Por ejemplo el ciclo de Krebs, que se oxida que se reduce, hay que entenderlo. Química agarro el libro cuando hay una cosa que no entiendo pero con hacer los ejercicios ya me queda. Por ejemplo Sales me salió de haber hecho 500.000 sales y entender lo que pasaba molecularmente. Una cosa que no se entiende en la secundaria es lo que pasa molecularmente. No sé si serán los profesores que no saben explicar o si seremos nosotros que no sabemos hacernos entender...nadie se imagina un átomo en el espacio entregando electrones y recibiendo electrones. Eso es lo difícil de entender de reacciones químicas y si no entendés eso arrastrás todo lo demás.

35. E: ¿Que te ha parecido el trabajo de laboratorio en Química...?

A: En la secundaria tenía un profesor de Química que escribía con una mano y borraba con la otra. No se enseña qué pasa con, por ejemplo, la sal de la mesa... Las experiencias son muy lindas pero...nada más.

ENTREVISTA N° 4. Seudónimo: JUAN.

E: Entrevistadora

A: Alumno

1. E: Me gustaría que me contaras si esta es tu primer experiencia a nivel universitario,... ¿por qué elegiste esta carrera?...

A: Sí, es la primera vez que Me gustaba porque me gusta el campo, los animales. Además venía otro amigo, me vive cerca.

2. E: ¿De dónde sos?

A: De Bolívar. No estaba seguro, había dejado de estudiar y todo. En el ingreso no estudiaba mucho, pero después....

3. E: ¿Cómo te resulta esto en relación con la escuela secundaria?

A: Es muy distinto. Un cambio muy grande, porque en la secundaria no tenés muchas responsabilidades. Es ir al colegio y después a la tarde, una vez por semana leer dos o tres hojas... Acá venís y te empiezan a hablar y hablar y hablar y no sabés que hacer.

4. E: El cambio es grande, seguro. ¿En cuanto a los contenidos? ¿Tuviste Física, Química...?

A: Sí pero son muy precarios. En diciembre vine a buscar el material del Articulatorio y lo preparé con profesores particulares... Había cosas que me acordaba, pero la mayoría no las había visto.

5. E: Por ejemplo ¿qué temas de los que has visto te resultaron totalmente nuevos?

A: Mejor te digo lo que vi: molaridad, sales, y bastante de Merceología.

6. E: Específicamente hablando de Química, algo que a mi particularmente me interesa es saber cómo percibís y si creés que es importante o no el conocimiento de cómo se producen las reacciones químicas, en qué condiciones se producen....

A: Sí, la Química es la base para el segundo año de Fisiología, lo dijo la profesora de metabolismo la última clase. Es importante, según lo que pase en las reacciones químicas después va a tener diferente efecto en el organismo.

7. E: ¿Te acordás de alguna reacción química que te resulte significativa?

A: Una reacción química es, o sea, se van a unir dos reactivos para formar un producto... Que se yo, una sal puede ser.... Por ejemplo ácido clorhídrico con hidróxido de sodio va a formar una sal más agua....

8. E: Si te propongo una representación de una reacción, por ejemplo: (La entrevistadora escribe en la tarjeta la ecuación) $N_2(g) + 3 H_2(g) \rightleftharpoons 2 NH_3(g)$

¿Podemos charlar sobre esto?

A: Esto es un equilibrio porque tiene la doble flecha. Es amoníaco... está en equilibrio, son gases los reactivos y los productos

9. E: Vos me dijiste, está en equilibrio ...

A: No, no sé si está en equilibrio, está equilibrada porque acá tenés dos moles de esto y acá le pusieron un dos para equilibrar.

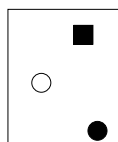
10. E: Te entiendo, pero vos mencionaste recién la doble flecha, por eso me gustaría que me cuentes, además de lo que ya dijiste....

A: O sea, esto estaría todo en un mismo recipiente (que es en lo que insiste tanto Beto). Estaría todo en un mismo recipiente, por eso es que está en equilibrio. Es como que se une esto para formar esto y a su vez se descompone para esto. Estaría en constante ir y venir...según la flecha., para allá tanto como para acá. Mm...para un lado es endotérmica y para el otro es exotérmica.

11. E: De este otro lado de la tarjeta hay representada otra, por ejemplo esta:
 $\text{NH}_4\text{Cl} (s) \rightleftharpoons \text{NH}_3(g) + \text{HCl}(g)$. ¿Cómo te la imaginás produciéndose?

A: ¿Cómo me la imagino? La puedo esquematizar con las pelotitas... ¿lo pongo en equilibrio? ¿que quede en equilibrio el recipiente?

(El entrevistado dibuja, mientras continúa hablando y señalando sobre el dibujo, para mostrar que las diferentes figuras corresponden a moléculas de diferentes sustancias)



Esto se va a separar para darme esto, así que con uno de esto (NH_4Cl) voy a tener uno de esto (NH_3) y de esto (HCl).

Esto varía porque según la cantidad que tenga, en este caso tenés uno de esto que da uno de esto, y el producto va a ser uno de esto. La pelotita negra (señala sobre la ecuación) representa la sal..., la cantidad de moles que hay... Si fuera que dos de sal te dan, por ejemplo tres de amoníaco y uno de HCl, entonces sería distinto...

12. E: ¿Cómo sería la representación en ese caso?

A: Cambiaría tendrías dos esferitas y dos cubitos...

13. E: ¿Y la representación del recipiente cambiaría?

A: No, no cambia me parece...la temperatura es lo único que hace variar el equilibrio..., pero, o sea, el aumento de esto me parece que no lo hace cambiar

14. E: ¿Qué querés decir con cambiar el equilibrio, qué cosa es lo que cambia?

A: O sea, cambia, si hay dos moles se iría hacia la derecha, se desplaza. Si hay dos se transforman en tantos de esto y tantos de esto y a su vez estos se van a unir para dar tantos de esto... dentro del recipiente cerrado. Por eso hay un equilibrio

15. E: Bueno, ahora cambiamos la temperatura, ¿qué cambia? Por ejemplo si aumento la temperatura

A: Me imagino que cambia la... , en vez de haber uno redondito...habría más de NH_3 y HCl que de sal, va a haber más esferitas. Bah!, no sé según como sea la reacción, si endo o exotérmica. Según como sea la reacción química, si aumenta la temperatura va a haber más cantidad de la sal..., va a haber más redonditos.

16. E: Ahora quisiera que con tus palabras me dijeras qué diferencias ves entre lo que está representado arriba y lo que acabo de representar acá abajo

(La entrevistadora escribe: $\text{NH}_4\text{Cl} (s) \rightarrow \text{NH}_3 (g) + \text{HCl} (g)$)

A: Esto no es un equilibrio.

17. E: **¿Cómo te das cuenta?**
A: Por la flecha. Sería una reacción común y corriente. Se separa pero no vuelve. Se produjo esto pero no se vuelve a unir para dar esto (*señala sobre la ecuación la fórmula de la sal*).
18. E: **¿Cómo harías las dos en el laboratorio, por separado?**
A: En esta (*señala la ecuación correspondiente al equilibrio*) el recipiente tiene que estar cerrado y el de abajo lo podés poner en un tubo de ensayo y es suficiente.
19. E: **¿Qué pondrías en el tubo de ensayo?**
A19: ¿En cada una?, bueno, se pone...¿cuando se pone, tiene que estar en equilibrio?
20. E: **Lo que tengo que conseguir es un sistema que en determinado momento alcance este estado ...**
A: Se puede poner esto (*señala la fórmula de la sal*) o esto (*señala las fórmulas: NH₃ y HCl*). Lo que yo pondría serían los reactivos para que me dé el producto y después el equilibrio.
21. E: **¿Por qué decís que se puede poner sal o los otros dos?**
A: Porque si ponés la sal se te va a desplazar y te va a dar los dos y si ponés esto se te van a unir y también te va a dar la sal, Se puede calentar o enfriar. Suponé que se calentara y se empezara a ir hacia la derecha después se volverían a formar los dos... para volver a formar un equilibrio... como está en un recipiente cerrado.
22. E: **¿Cuándo ocurre todo eso?**
A: Y continuamente, se rompe esto y automáticamente se vuelve a formar esto. Es continuo. No es que un minuto se forma esto y al otro minuto lo otro. Es hasta que las velocidades se equilibran,
23. E: **¿Qué velocidades?**
A: Una vez que la velocidad de la sal que pasa hacia la derecha se equilibra con la velocidad de los productos que se unen y pasan hacia la izquierda, ahí se produce el equilibrio.
24. E: **¿Alguna diferencia o similitud más que me quieras mencionar entre los dos...?**
A: La diferencia principal me parece que es esa y bueno, similitud que son los mismos compuestos...
25. E: **¿Cuál elegirías de los dos si lo que quisieras es producir amoníaco...?**
A: El de abajo (*refiriéndose al sistema de reacción irreversible*), porque cuando se produce la reacción, ya lo tenés, en cambio acá está todo mezclado, en el equilibrio. O sea, no... me parece también que depende de cómo sea el equilibrio, si vos tenés una reacción endotérmica vas a tener más cantidad de amoníaco... Se separa la sal y vas a tener más cantidad de amoníaco.
Si, es la de abajo porque en esta otra se está haciendo y automáticamente está volviendo, no tenés un volumen constante de esto, una masa constante... En cambio acá sí, una vez que hiciste esta reacción ya te dio cierta cantidad de esto.

26. E: Suponé que tenés en un recipiente, inicialmente 1 mol de la sal. En este caso en un recipiente cerrado y en el otro no, después de un tiempo suficiente ¿cuánto se habría formado de amoníaco en un caso y otro? En el segundo caso, de alguna manera recojo el amoníaco

A: Me parece que no influye en la cantidad a obtener... que esté en equilibrio o no. La verdad que no se si está bien o no. Supuestamente lo tendría que saber ...

27. E: Ya que mencionás ese tema, ¿me podrías contar cómo estudiás?

A: Trato de no estudiar de memoria...de buscarle la vuelta para entenderlo pero también me cuesta horrores razonar.

28. E: ¿Cómo enfrentás el estudio de las diferentes materias?

A: Química es más de razonar, en cambio en Biología hay cosas que te las tenés que acordar de memoria, los nombres..., igual trato de relacionar...

29. E: Una cosita más, en particular el trabajo de laboratorio ¿cómo lo ves?

A: En la Facultad mucho no me sirvió, somos muchos...Yo necesitaría que haya una persona que te esté explicando, por ejemplo los preparados de Biología

30. E: ¿Para qué creés que se hace laboratorio?

A: Es con la idea de que vayamos mirando y tengamos una idea de cómo se usan los instrumentos, como se ven las cosas, las reacciones, para que experimentemos. En Química, nos formaban de a grupos y lo hacía uno y otros miraban...

ENTREVISTA N° 5. Seudónimo: LORENA.

E: Entrevistadora

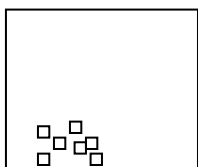
A: Alumna

- E: Quisiera que me cuentes si esta es tu primer experiencia a nivel universitario...**
A: Terminé quinto y empecé odontología en Bs. as. pero no me adapté así que reinicié este año Veterinaria (que también me gustaba) acá, que me queda más cerca de mi casa.
- E: ¿Qué alcanzaste a hacer?**
A: La mitad del CBC.
- E: ¿Qué diferencia encontraste entre el secundario y la universidad?**
A: En el secundario no estudiábamos mucho, no sabíamos estudiar. En el primer cuatrimestre te golpeás un montón de veces porque es como que vos pensás que sabés o que no sabés cómo estudiar porque tenés un montón de cosas que tenés que aprender de memoria (pensás) o no sabés como estudiarlas o no te da el tiempo...
- E: Con respecto a lo que son contenidos, específicamente de ciencias, por ejemplo, ¿hubo muchas cosas muy nuevas para vos?**
A: Si bastante, tuvimos algunos temas que coincidían pero acá se dan más profundos...
- E: Por ejemplo ¿cuáles fueron los temas más raros?**
A: En Biología fueron los más raros; Anatomía, todo nuevo. Química....casi todo también, lo del ingreso era lo que más coincidía con la secundaria. Pero ahora es casi todo nuevo.
- E: ¿A qué colegio secundario fuiste?**
A: Un bachiller, no me dejó una buena base...
- E: En particular a mi me interesaría, respecto de lo que has visto de Química en la Universidad, ¿qué cosas te parecen más relacionadas con la carrera?**
A: Probablemente todo tenga algo que ver, la verdad es que no sé mucho qué tienen que ver, para que lo podemos llegar a usar, más allá de que algunas cosas nos dicen, esto lo vas a usar el año que viene....
- E: Por ejemplo un tema químico es el de las reacciones químicas. Me gustaría que me propongas alguna, la más interesante, o simplemente la que quieras ...**
A: Por ejemplo... no sé, siempre se me ocurre algo con el cloro....pero no tengo una...
- E: Bueno, yo te propongo una, ya que hablaste del cloro, vamos a conversar sobre la base de esta representación: $\text{NH}_4\text{Cl} \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{HCl}$ (La entrevistadora escribe en la tarjeta). Quiero que me digas si puede tratarse de la representación de una reacción química y todo lo que se te ocurra a partir de eso.**
A: Sí, es una reacción química...pasa de sólido a gaseoso. Es un equilibrio...Tengo la sal sólida que se va a disociar en amoníaco y cloruro de hidrógeno y también puede ser al

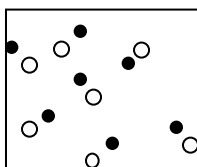
revés, estos dos se pueden juntar para dar esto. Al ser un equilibrio siempre esto me va a formar esto y esto me va a formar esto.

10. E: ¿Cómo te lo imaginás produciéndose?

A: Yo me lo imagino como lo vimos en clase, tipo los dibujitos..., así, si tengo, no se cuantos...de sal



Dibujo 1



Dibujo 2

(Mientras hace dos representaciones como las que se muestran en los dibujos 1 y 2) Claro, yo voy a tener de esto y de esto la misma cantidad.... (refiriéndose a los símbolos que representan al NH_3 y al HCl)

11. E: A ver si te ayuda a pensar, ¿cómo harías vos para conseguir un sistema así en el laboratorio?

A: Por ejemplo si tengo la sal, por calor, se va a deshacer en estas dos (explica sobre los dibujos anteriores). Estas mismas moléculas, las de sal, se me van a transformar en estas dos (refiriéndose a las de NH_3 y HCl).

12. E. Pusiste la sal en el recipiente, ahora representá ese recipiente un rato después, el mismo sistema.....

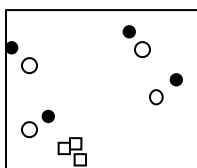
A: Ahora me va a quedar cada una ... (mirando el dibujo 2). Pero no me queda ninguna de de sal y no se va a disociar totalmente...

13. E: Ahora te pregunto, ¿lo que se está representando en la ecuación y tu dibujo pueden ser representaciones del mismo sistema?

A: creo que no porque si yo tengo un equilibrio también se va a estar formando la sal...tendría moléculas de sal y de....

14. E: ¿Te animás a rehacer un dibujo?

A: (Hace una representación como la que aparece en el dibujo 3 y permanece en silencio)



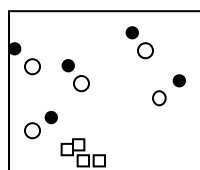
Dibujo 3

15. E: Qué ocurriría si le agregamos a ese sistema sal?

A: Va a tender otra vez a equilibrarse, lo único que modifica los equilibrios es la temperatura..

16. E: Te animarías a volver a hacer una representación pero ahora una vez que agregué más sal?

A: (Hace la representación que se muestra en el Dibujo 4)



Dibujo 4

17. E: Podrías contarme qué ocurrió en el sistema de tu representación...
 A:.....
18. E: recién dijiste que lo único que modifica los equilibrios es la temperatura, ¿de qué manera los modifica?
 A: si aumento la temperatura,...se modifica la constante. si aumento la temperatura, las moléculas se mueven más. No se si es endotérmica o exotérmica pero si aumento los productos, la constante va a aumentar y si disminuyen los productos va a disminuir....
19. E: Te animás a expresar la constante para este sistema?
 A: (Escribe) $K = \frac{[\text{NH}_3] \cdot [\text{HCl}]}{[\text{NH}_4\text{Cl}]}$
20. E: Si la descomposición de la sal es endotérmica. Qué ocurre si aumento la temperatura?
 A: si aumento la temperatura va a aumentar la cantidad de producto y entonces va a disminuir la cantidad de sal, la constante va a ser más grande.
21. E: tengo un recipiente con el contenido en equilibrio a una determinada temperatura y después lo tengo a una temperatura mayor, qué diferencia existirá entre uno y otro?
 A: Y, voy a tener mayor cantidad de producto.
22. E: Me podrías decir algunas diferencias y similitudes entre el sistema anterior y este:
 A: El segundo se va a disociar totalmente, todo se va a transformar, en el otro no, es un equilibrio voy a tener de todo...
23. E: En cada caso es la misma o es distinta la cantidad de amoníaco que se genera?
 A: En determinado tiempo va a ser la misma pero va a llegar un momento en el que, en el segundo sistema, la sal se va a terminar. En el sistema de arriba siempre va a estar un mol y un mol... No se termina, vuelve...Siempre va a estar en equilibrio, siempre va a ser igual.
24. E: Experimentalmente, qué diferencias podés encontrar entre los dos sistemas?... para hacerlos en el laboratorio.
 A: Uno, el primero lo haría en un recipiente cerrado. Este hasta cierta temperatura puedo entregarle calor en cambio este puedo seguir aumentando la temperatura y....
25. E: Ya que hablamos del trabajo de laboratorio, qué opinión te merece, te sirve, contribuye?
 A: Sirve, ver lo que estamos haciendo experimentalmente, sino siempre en el papel por ahí es como que no lo ves.

26. E: En cuanto a cómo estudiás, qué podrías contarme?

A: Química siempre es mi problema, trato de estudiar primero los temas que más me cuestan o que sé que no los entendí muy bien. Después afianzar bien en los detalles...

27. E: Te planteás diferente el estudio cuando se trata de una u otra materia?

A: En general sí, depende mucho de lo que me gusta y lo que no me gusta. Biología, por ejemplo, no me gusta estudiar nada de memoria. En química me siento y hago ejercicios hasta que me salen.

Nota: Los dibujos de estas dos últimas entrevistas fueron reproducidos por la entrevistadora, al finalizar la entrevista, porque los entrevistados prefirieron conservar, en su poder, lo realizado.

Anexo 5. Mapas elaborados a partir de las entrevistas

En las Figuras A5.1 a A5.10, se presentan los mapas cognitivos elaborados para las entrevistas.

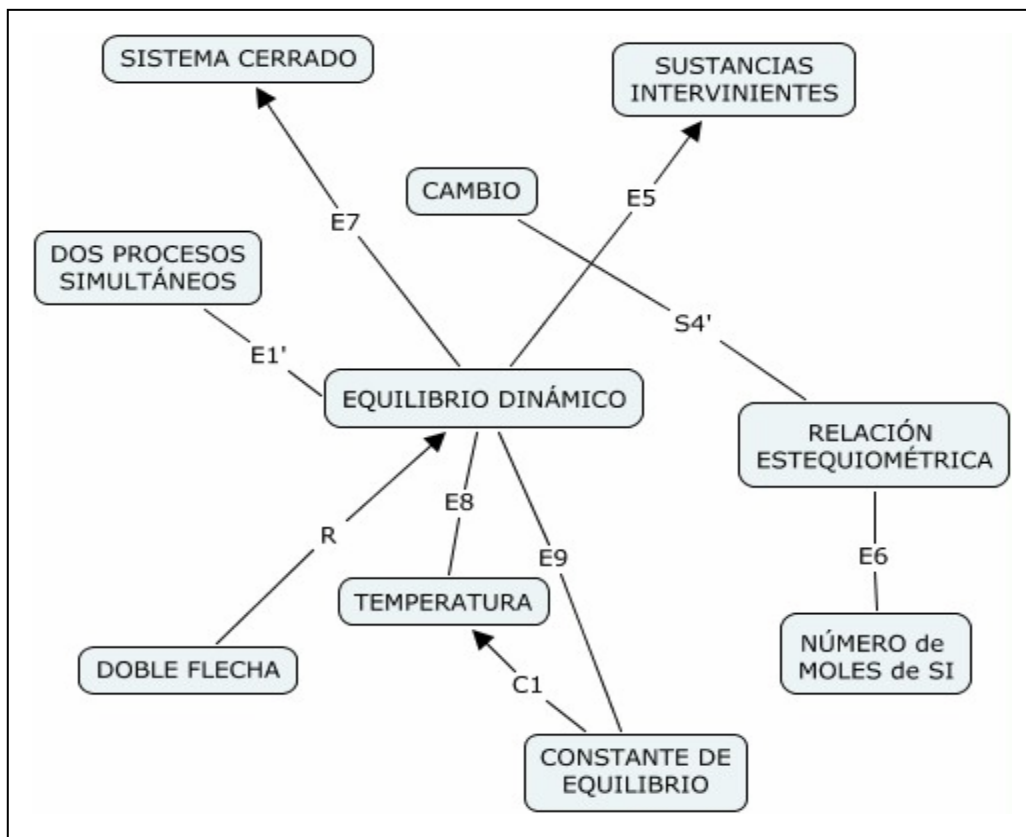


Figura A5.1 Mapa cognitivo entrevista N° 1 (MC1)

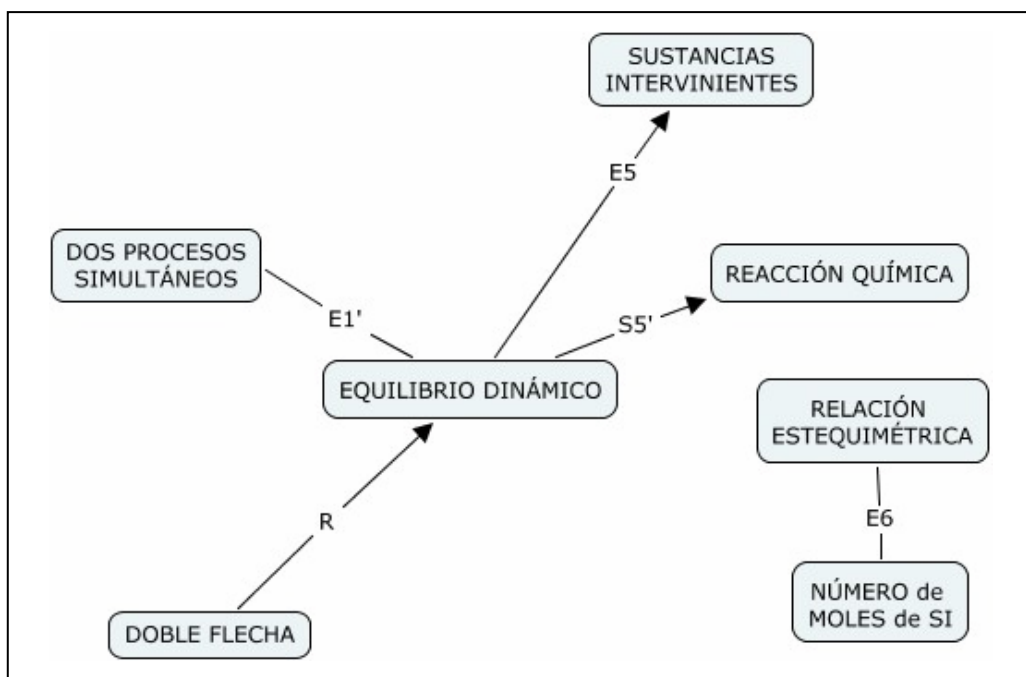


Figura A5.2. Mapa cognitivo entrevista N° 2 (MC2)

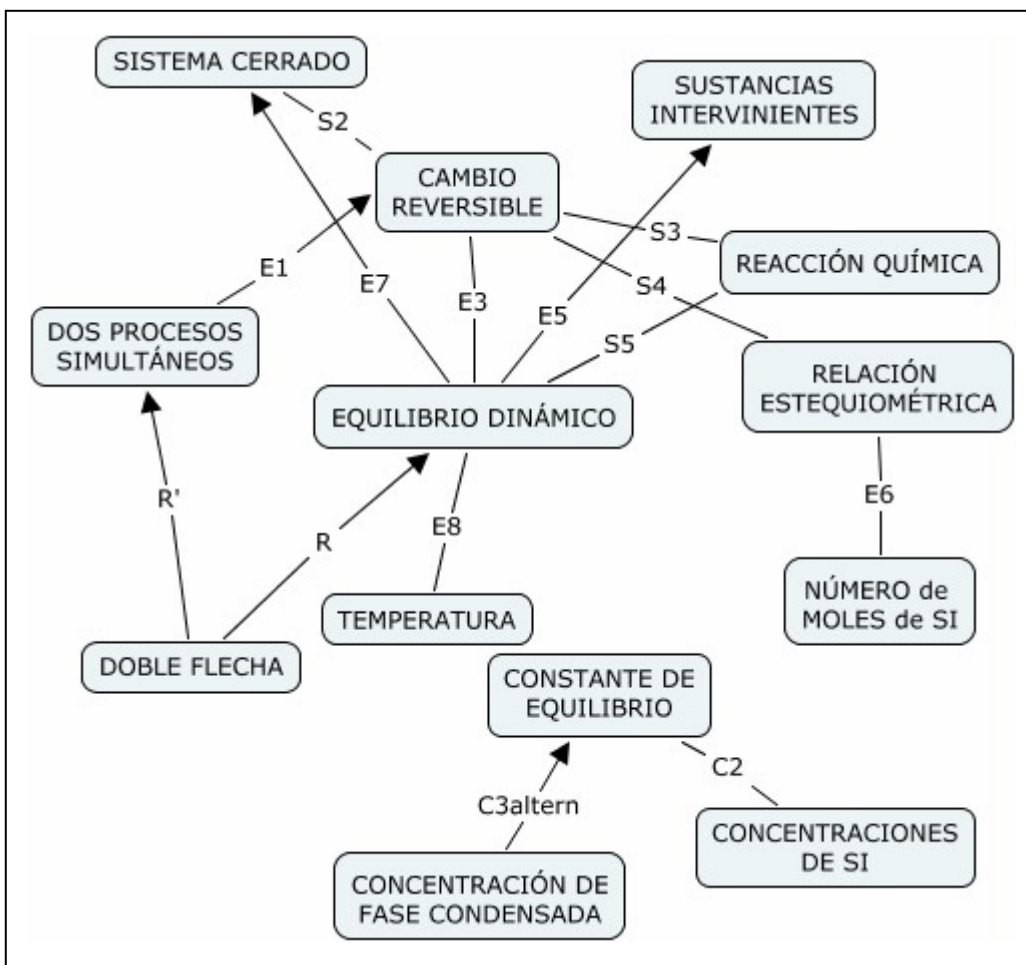


Figura A5.3. Mapa cognitivo entrevista N° 3 (MC3)

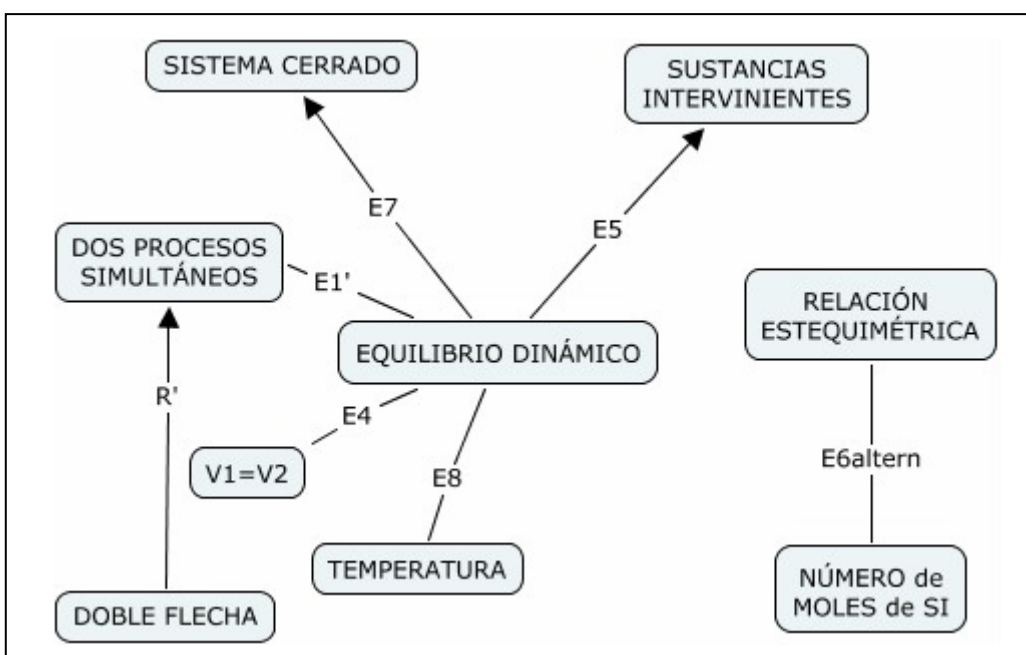


Figura A5.4. Mapa cognitivo entrevista N° 4 (MC4)

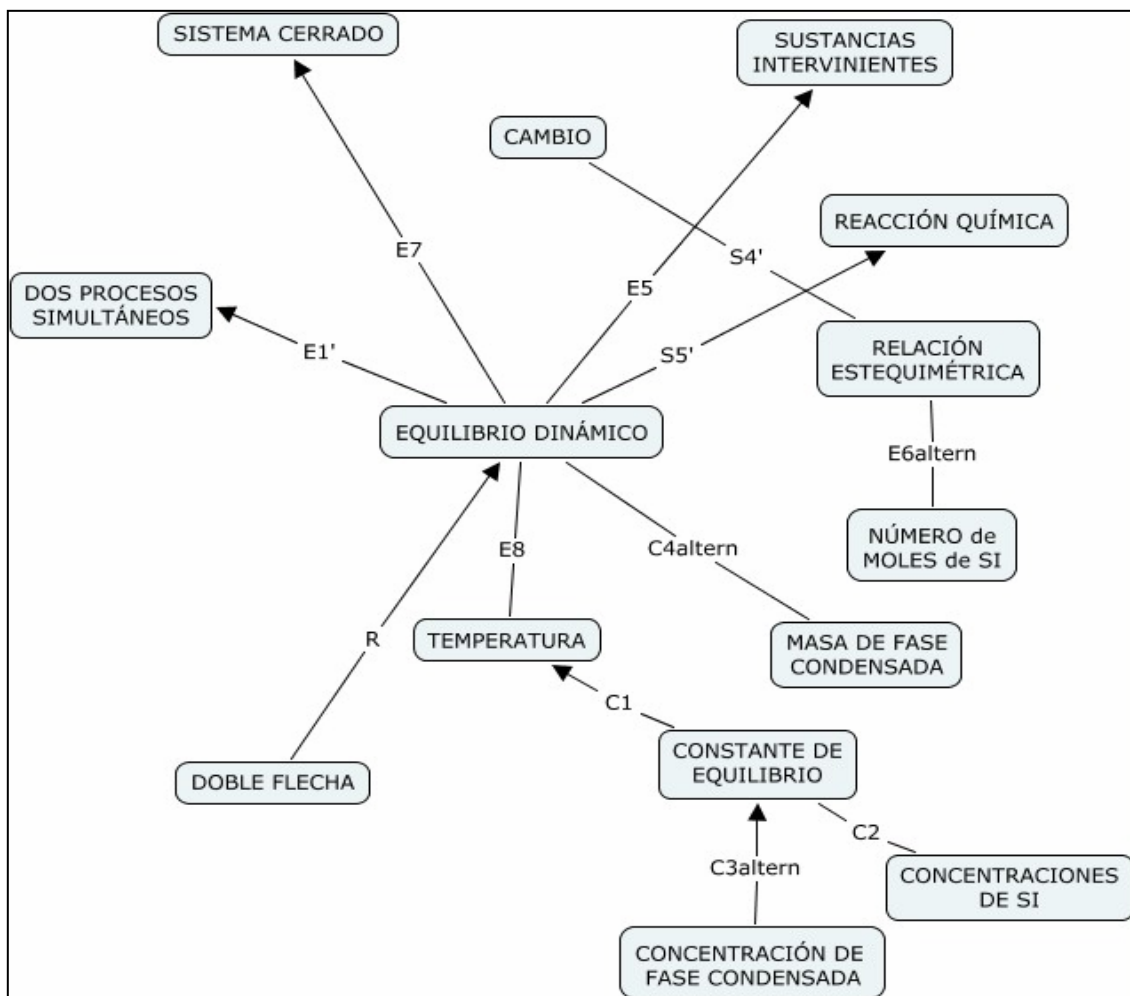


Figura A5.5. Mapa cognitivo entrevista N° 5 (MC5)

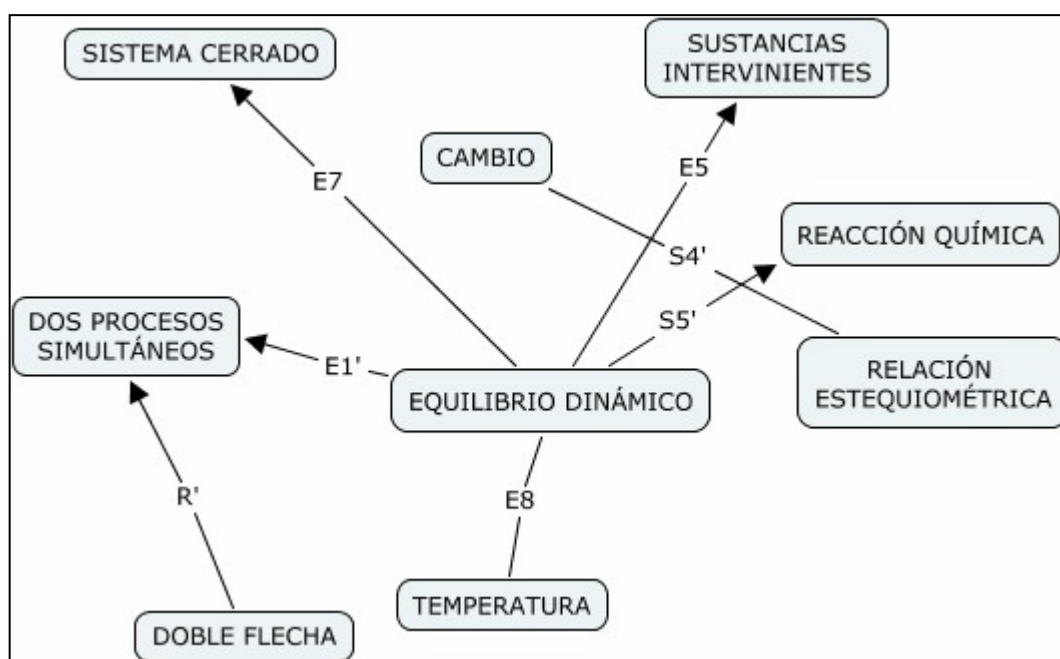


Figura A5.6. Mapa cognitivo entrevista N° 6 (MC6)

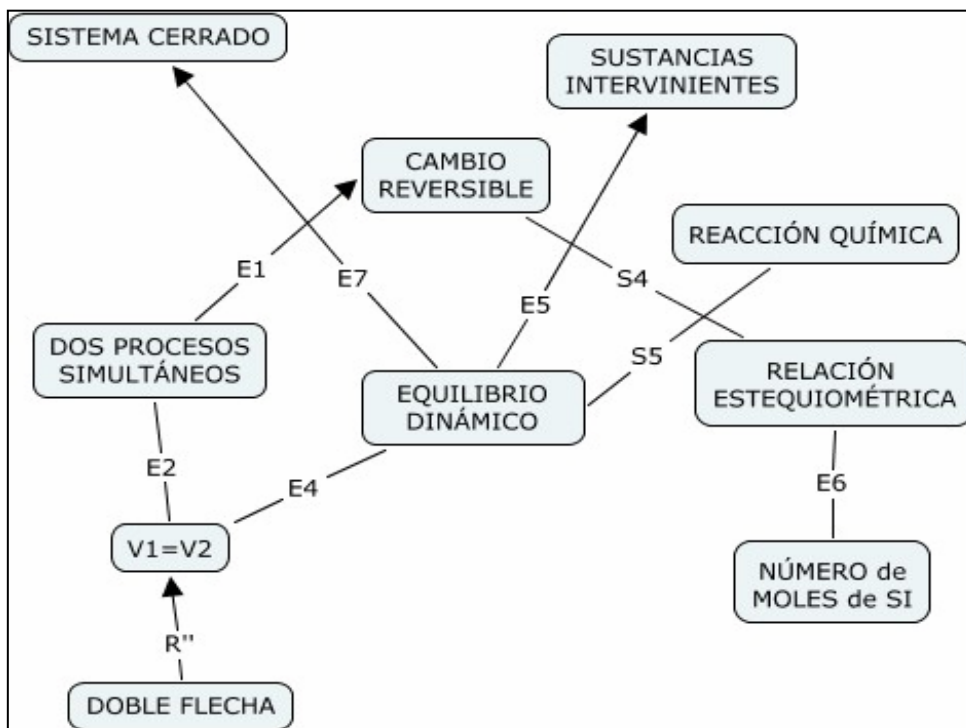


Figura A5.7. Mapa cognitivo entrevista N° 7 (MC7)

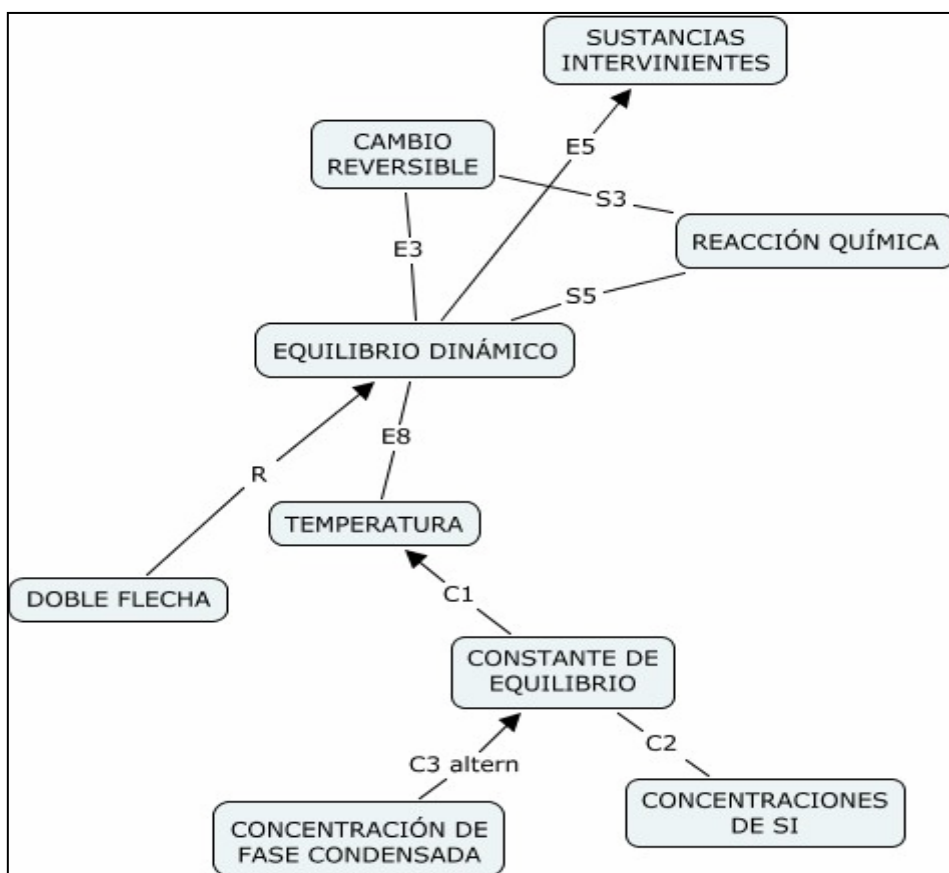


Figura A5.8. Mapa cognitivo entrevista N° 8 (MC8)

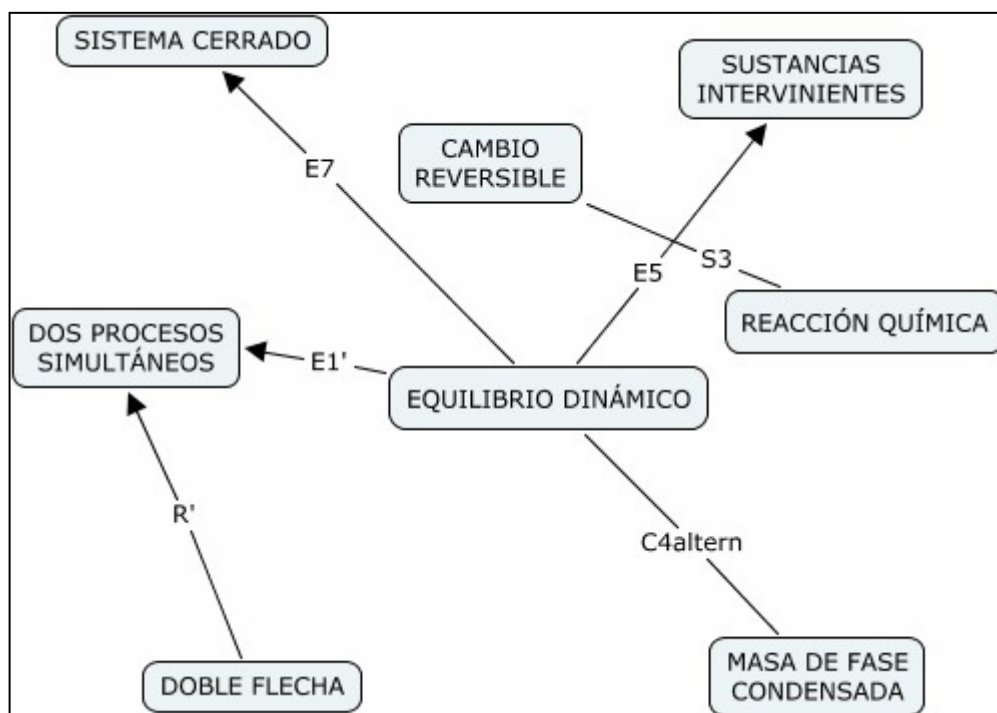


Figura A5.9. Mapa cognitivo entrevista N° 9 (MC9)

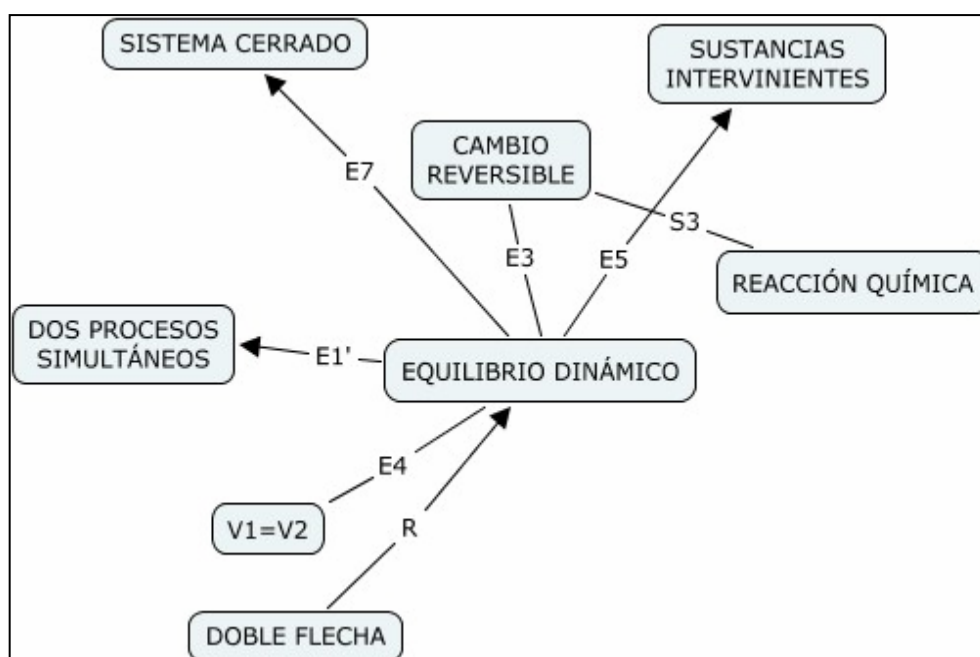


Figura A5.10. Mapa cognitivo entrevista N° 10 (MC10)

Anexo 6. Ejemplo de cálculo del índice de similitud

Los conceptos del mapa base, presentes en el mapa cognitivo de la entrevista N° 6 son nueve (ver Anexo 5). Para calcular el indicador de similitud correspondiente, se debe obtener primero un índice para cada concepto, que surge del cociente entre el número de relaciones que lo contienen en el mapa (n_{MC}) y el número total de relaciones en las que se puede considerar involucrado (n_{total}). Este número resulta de tener en cuenta todas las relaciones diferentes del mapa base y del mapa a analizar, que incluyen un concepto.

Para determinar el índice de similitud se calcula la suma de todos los índices para cada concepto y se divide por el número total de conceptos del mapa base. En la Tabla A6.1, se detallan en la segunda y tercera columnas, las relaciones posibles para cada uno de los nueve conceptos que integran el mapa cognitivo. Nótese que se han considerado conjuntamente los conceptos cambio y cambio reversible.

Conceptos	Relaciones en el MC6	Relaciones en el MCbase que no aparecen en el MC6	n_{MC6}	n_{total}	n_{MC6}/n_{total}
Equilibrio dinámico	E1', E7, E5, S5', E8,	E3, E4, E9, S5, C4, R	5	11	0.45
Sistema cerrado	E7	S1, S2	1	3	0.33
Cambio/ Cambio reversible	S4'	E1, S2, S3, S4, E3	1	6	0.17
Relación estequiométrica	S4'	E6, S4	1	3	0.33
Reacción química	S5'	S3, S5	1	3	0.33
Sustancias Intervinientes	E5	S1	1	2	0.50
Dos procesos simultáneos	R', E1'	E1, E2	2	4	0.50
Doble flecha	R'	R	1	2	0.50
Temperatura	E8	C1	1	2	0.50

Tabla A6.1 Relaciones presentes en el MC6 y valores para el cálculo del índice de similitud

Se calcula el índice para cada concepto: $IC_x = n_{MCx}/n_{total}$ como el cociente entre el número de relaciones que lo contienen en el mapa (n_{MC6}) y el número total de relaciones en las que se puede considerar involucrado (n_{total}). Este número surge de considerar la unión entre las relaciones del mapa base que incluyen al concepto (n_{MCbase}) y las que lo contienen en el mapa a analizar (n_{MC6}): n_{total} surge de: $n_{MCbase} \cup n_{MC6}$ (para cada concepto)

Se calcula luego el índice **IMC** como la suma de los índices correspondientes a cada uno de los 15 conceptos que forman el mapa base, dividido 15: $IMC = \sum IC_n / 15$

$$\Sigma n_{MC} / n_{total} = 3.61 / 15 = 0.24$$

El número de conceptos del mapa base que aparecen en el MC6 (9) y el índice de similitud calculado, de 0.24, están mostrando que se ha desarrollado una entrevista que ha atendido sólo a una parte de las relaciones relevantes que se desean indagar. No hay referencias hechas a la constante de equilibrio y a las concentraciones de sustancias intervinientes.