

**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE HUMANIDADES Y EDUCACIÓN
PROGRAMA DOCTORADO EN EDUCACIÓN**

**EL PERFIL CONCEPTUAL DE EQUILIBRIO QUÍMICO Y SU RELACIÓN
CON EL APRENDIZAJE EN ESTUDIANTES Y GRADUADOS DE
EDUCACIÓN EN CIENCIAS FÍSICO NATURALES**

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR AL GRADO DE
DOCTOR EN EDUCACIÓN**

Autor: M.Sc. López González Wilmer Orlando

Tutora: Dra. Marlene Castro

Mérida, diciembre de 2016



HUMANIDADES Y EDUCACION
CONSEJO DE ESTUDIO DE POSTGRADO
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

MERIDA VENEZUELA

Escuela de Educación

DOCTORADO EN EDUCACIÓN

VEREDICTO

DEFENSA DE TESIS DOCTORAL

Los suscritos, miembros del jurado designados por el Consejo Directivo del Doctorado en Educación de la Facultad de Humanidades y Educación y por el Consejo de Estudios de Postgrado de la Universidad de Los Andes, reunidos para conocer y evaluar la defensa pública de la Tesis Doctoral, titulada: **“El perfil conceptual de equilibrio químico y su relación con el aprendizaje en estudiantes y graduados de Educación en Ciencias Físico Naturales”**, elaborada por el **MSc. Wilmer Orlando López González**, titular de la cédula de identidad **Nº 8.086.556**, como requisito parcial para optar el Grado de Doctor en Educación, luego de revisarla y llevarla a su discusión en acto público, celebrado en el Salón de reuniones del Doctorado en Educación de la Facultad de Humanidades y Educación de la Universidad de Los Andes, el día 06 de diciembre de dos mil dieciséis, a las 9:30 am, emitieron el siguiente veredicto: **APROBADO CON MECIÓN HONORIFICA Y RECOMENDADO PARA PUBLICACIÓN.**

Dra. Kimara Carballo

Universidad Simón Rodríguez El Vigía

Jurado Externo



Dra. Olga Márquez

Universidad de Los Andes.

Jurado

Dra. Marlene Castro

Universidad de Los Andes

(TutorA)

Mérida, 06 de diciembre de 2016

DEDICATORIA

A Dios mi padre celestial por haberme dado la salud y la oportunidad de gozar de una experiencia de crecimiento como ser humano y profesional

A toda mi familia en especial al amor de mi vida mi esposa Yuly Mar quien ha sabido comprenderme, acompañarme y apoyarme dándome ánimo y consuelo en los momentos difíciles en el transitar de este camino

A mis amados hijos Wilmary y Wilmer José quienes me acompañaron y me concedieron su tiempo y espacio para dedicárselo a este trabajo de tesis

A mis padres Rosa y Ángel por siempre haberme apoyado en mi formación intelectual y profesional brindándome sus consejos de fortaleza

A mis hermanos: Rosa Angélica, Miguel Ángel, Gloria y Mayra Alejandra por ese apoyo incondicional

A mi abuela Elina por haberme dado sus consejos y apoyo desde mis años de niñez al incentivar me al estudio y al trabajo

Al señor Venancio Ponce por haberme dado su apoyo y sus consejos siempre por el bien de mi crecimiento como ser humano y profesional

AGRADECIMIENTOS

A Dios mi padre celestial por haberme dado la vida y la oportunidad de estar aquí en la tierra para disfrutar de una experiencia de crecimiento como ser humano y profesional

No sé cómo expresar mis agradecimientos en pocas palabras, lo que si estoy seguro es que he tenido la oportunidad de compartir e interactuar con personas especiales e instituciones, a las cuales siempre llevaré en mi corazón y pensamiento en este transitar de mi formación doctoral

A la Universidad de Los Andes, institución quien me dio la oportunidad de formarme profesionalmente a través de su programa de Doctorado en Educación

Al programa de Doctorado en Educación de la Facultad de Humanidades y Educación por haberme dado la oportunidad de crecer intelectualmente a través de sus distintos cursos lo que permitió el compartir e interactuar con otras personas con formación en distintos campos del saber, lo que ha contribuido al crecimiento de mi visión de la Educación y del proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

A mi tutora, Dra. Marlene Castro quien siempre supo acompañarme, orientarme y guiarme en este camino de crecimiento personal e intelectual durante el desarrollo de mi programa y tesis doctoral

A los profesores Eduardo Mortimer y Francisco Couthino de la Facultad de Educación de la Universidad de Minas de Gerais en Belo Horizonte Brasil, por su apoyo y asesoría en la parte metodológica de la tesis doctoral

Al Departamento de Pedagogía y Didáctica de la Facultad de Humanidades y Educación en la persona de su jefe la profesora Ivón Rivera por su apoyo en la realización de mis estudios doctorales

A todos aquellos profesores compañeros de trabajo y amigos que en estos momentos se me escapan les estaré agradecido siempre por compartir sus ideas y maneras de pensar sobre la Educación, la enseñanza y el aprendizaje lo que me ha permitido crecer en este campo del saber.

INDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS	II
ÍNDICE DE TABLAS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
RESUMEN	VIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
EL PROBLEMA.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
INTERROGANTES DE INVESTIGACIÓN	9
JUSTIFICACIÓN.....	9
OBJETIVOS.....	11
OBJETIVO GENERAL.....	11
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	11
CAPITULO II	12
MARCO TEÓRICO.....	12
ANTECEDENTES.....	12
BASES TEÓRICAS.....	17
Perspectiva Química como conocimiento científico.....	17
Definición del equilibrio químico.....	19
Evolución histórica del concepto de “equilibrio químico”	23
Perspectiva didáctica en la enseñanza de la ciencia Química	29
Ideas previas.....	31

Aprendizaje de la Química y los errores conceptuales.....	34
Ideas y dificultades conceptuales sobre el equilibrio químico.	40
Evolución en las visiones sobre cambio conceptual.....	46
El perfil conceptual	51
Principios epistemológicos y ontológicos en el cambio conceptual.....	54
Principios epistemológicos	54
Principios ontológicos.....	56
El aspecto metacognitivo.....	57
CAPÍTULO III	60
MARCO METODOLÓGICO	60
Paradigma de la investigación	61
Tipo de investigación	61
Diseño de la Investigación.	62
Población y muestra o informantes.....	63
Técnicas e instrumentos de recolección de la información.....	64
Análisis de los datos	67
Resultados de la prueba piloto.....	68
Categorías emergentes con la aplicación del Cuestionario.....	68
Determinación de las zonas del Perfil conceptual de Equilibrio Químico en la muestra piloto.....	75
Procedimiento realizado	83
CAPITULO IV	85
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	85
Identificación de las categorías que conforman el perfil conceptual del equilibrio químico y su relación con el aprendizaje en los estudiantes y graduados de educación en Ciencias Físico Naturales.....	86

Posibles obstáculos ontológicos y epistemológicos presentes en los perfiles conceptuales del equilibrio químico en los estudiantes de educación en ciencias físico naturales.	107
La toma de consciencia en el uso del perfil conceptual del equilibrio químico en situaciones problemáticas	113
Presentación de los perfiles conceptuales del equilibrio químico de universitarios en educación en ciencias físico naturales	126
Perfiles conceptuales.....	127
Evolución de los perfiles conceptuales del equilibrio químico en los grupos de participantes	136
CAPITULO V	139
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	139
RECOMENDACIONES	143
REFLEXIONES E IMPLICACIONES.....	145
REFERENCIAS.....	146
ANEXO 1	163
CUESTIONARIO	163
ANEXO 2.....	165
ENTREVISTA.....	165

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Zona "Igualdad" en los estudiantes informantes de la prueba piloto	75
Tabla 2. Zona "Estequiométrica" en los estudiantes informantes de la prueba piloto	76
Tabla 3. Zona "Compartimentada" en los estudiantes informantes de la prueba piloto	78
Tabla 4. Zona "Equilibrio químico" en los estudiantes informantes de la prueba piloto	79
Tabla 5. Zona "Estática" en los estudiantes informantes.....	81
Tabla 6. Zona "Le Chatelier" en los estudiantes informantes de la prueba piloto..	82

Tabla 7. Respuestas del grupo 1 a la pregunta 1. Describa qué significa para usted la palabra "Equilibrio"	86
Tabla 8. Respuestas del grupo 1 a la pregunta 2. Planteamiento sobre la imagen de la balanza estequiométrica de la obtención del amoniaco (ver cuestionario en Anexo 1)	89
Tabla 9. Presencia de la categoría "Compartimentada" en el grupo 1	91
Tabla 10. Expresiones en donde se evidencia la categoría "Igualdad" en el grupo 2	94
Tabla 11. Presencia de la categoría "Estática" en el grupo 2 de estudiantes participantes	95
Tabla 12. Presencia de la categoría "Compartimentada" en el grupo 2 de estudiantes participantes	96
La categoría "estequiométrica" emerge en este grupo, como una zona del perfil conceptual del equilibrio, cuando los estudiantes hacen algunos planteamientos en las respuestas al cuestionario tales como las descritas a continuación en la tabla 13. Tabla 13. Presencia de la categoría "Estequiométrica" en el grupo 2 de estudiantes participantes	96
Tabla 14. Presencia de la categoría "Equilibrio químico" en el grupo 2 de estudiantes participantes	97
Tabla 15. Presencia de la categoría "Le Chatelier" en el grupo 2 de estudiantes participantes	98
Tabla 16. Presencia de la categoría "Igualdad" en el grupo 3 de participantes.....	99
Tabla 17. Presencia de la categoría "Estática" en el grupo 3 de participantes....	100
Tabla 18. Presencia de la categoría o zona "Compartimentada" en el grupo 3 ..	101
Tabla 19. Presencia de la categoría "Estequiométrica" en el grupo 3	102
Tabla 20. Presencia de la categoría "Le Chatelier" en el grupo 3	103
Tabla 21. Presencia de la categoría "Estática" en el grupo de graduados	105
Tabla 22. Distribución de los perfiles conceptuales individuales del grupo 1 de estudiantes participantes	128
Tabla 23. Distribución de los perfiles conceptuales individuales del grupo 2 de estudiantes participantes	130
Tabla 24. Distribución de los perfiles conceptuales individuales del grupo 3 de estudiantes participantes	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Perfil conceptual del equilibrio químico del grupo 1	129
Figura 2. Perfil conceptual del equilibrio químico del grupo 2	131
Figura 3. Perfil conceptual del equilibrio químico del grupo 3	133
Figura 4. Perfil conceptual del grupo de profesores graduados	134

Figura 5. Evolución del perfil conceptual de Equilibrio Químico, desde el primer y segundo semestre (grupo1) de licenciatura en Educación hasta el grupo de graduados..... 137



HUMANIDADES Y EDUCACIÓN
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
MÉRIDA VENEZUELA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN EDUCACIÓN

EL PERFIL CONCEPTUAL DE EQUILIBRIO QUÍMICO Y SU RELACIÓN CON EL APRENDIZAJE EN ESTUDIANTES Y GRADUADOS DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS FÍSICO NATURALES

Autor: (M.Sc.) Wilmer Orlando López González

Tutor: Dra. Marlene Castro

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue estudiar el perfil conceptual del equilibrio químico en estudiantes y graduados de Educación en Ciencias Físico Naturales. Para la consecución de este objetivo se procedió a identificar las distintas maneras que tenían los participantes, de conceptualizar el equilibrio químico, tema clave en el aprendizaje de la ciencia Química. Los participantes fueron escogidos de forma intencional y en correspondencia con los objetivos de esta investigación. Se identificaron las distintas maneras de pensar o conceptualizar que tenían los participantes sobre el equilibrio químico, a través de la aplicación de un cuestionario cuyas respuestas fueron categorizadas tomando en cuenta los dominios genéticos de Vygotsky, el sociocultural referido a las ideas generadas en el desarrollo histórico del equilibrio químico; el ontogenético referido a los estudios sobre las ideas y concepciones de los estudiantes sobre el equilibrio químico y el microgenético referido a las ideas generadas al aplicar instrumentos tal como corresponde en este caso al cuestionario. Las categorías o zonas del perfil conceptual en los participantes fueron: “Igualdad”, “Estática”, “Compartimentada”, “Estequiométrica”, “Equilibrio químico” y “Le Chatelier”. Quedó evidenciado que las zonas de mayor rigor científico tales como: “Equilibrio químico” y “Le Chatelier” tuvieron muy poca presencia tanto en los grupos de pregrado como en el de graduados, con un estatus muy fuerte de zonas como: “Igualdad”, “Estática” y “Estequiométrica”, lo que probablemente se deba a planteamientos didácticos con énfasis en cálculos estequiométricos y el uso de la constante de equilibrio con poco nivel de consciencia del origen dinámico de dicha constante. El grupo de graduados demostró muy poco nivel de toma de consciencia cuando tuvieron que aplicar sus concepciones a ciertas situaciones problemáticas y contextos particulares. Se identificaron algunos obstáculos epistemológicos y ontológicos admitiendo a la ecuación química como representación de la realidad y visiones estáticas y compartimentadas que pueden afectar el aprendizaje del equilibrio químico. Las pocas ideas de los participantes en las zonas científicas del perfil, invitan a un replanteamiento de los objetivos y de las estrategias de enseñanza y de aprendizaje de la Química universitaria en pos de lograr una formación integral y completa de la ciencia Química, lo cual es un factor fundamental para la calidad del futuro desempeño docente de los participantes.

Palabras clave: Perfil conceptual, Enseñanza, Aprendizaje, Equilibrio químico, Química.

INTRODUCCIÓN

La investigación en la enseñanza de las ciencias ha sido desarrollada, entre otros, desde la perspectiva de líneas de investigación basadas en las preconcepciones, formación de conceptos, estudio de errores conceptuales, obstáculos epistemológicos y cambio conceptual.

Uno de los grandes problemas que enfrenta el proceso de enseñanza y aprendizaje de conceptos científicos, es la presencia de ideas previas o alternativas llamadas también preconcepciones, en la estructura cognitiva del aprendiz, las cuales resultan difíciles de modificar, y persisten con cierta fortaleza a pesar de largos periodos de instrucción escolarizada, convirtiéndose éstas en errores conceptuales, cuya superación es necesaria para lograr lo que se denomina cambio conceptual.

El cambio conceptual ha sido uno de los temas por el cual un gran número de investigaciones se han orientado hacia dilucidar cuestiones como éstas: ¿En qué condiciones se da dicho cambio?, ¿Cuán fuerte es dicho cambio? y ¿Cómo se da dicho cambio ?.

Admitiendo la complejidad del cambio conceptual (Pozo, 2007; Schotz, Vosniadou y Carretero, 2006; Marín, 1999) específicamente en situaciones de enseñanza y aprendizaje en el campo de las ciencias exactas, se puede decir que uno de los elementos en que se basa dicha complejidad es la multiplicidad y la heterogeneidad de significados que tiene el individuo sobre una palabra o concepto, debido a que no existe una única forma de pensar, sino diferentes tipos de pensamiento (Tulviste, 1991). Para representar esta heterogeneidad de formas de pensar y hablar, se ha propuesto el perfil conceptual (Dos Santos y Doménech, 2005; Mortimer, 1992, 1994, 1995, 1997, 2000, 2001, 2005; Ribeiro y Mortimer, 2004; Viggiano y Rodrigues de Mattos, 2008) como modelo para representar las distintas maneras de concebir el mundo.

El perfil conceptual permite de alguna manera, ubicar los distintos significados que coexisten en el estudiante, en distintas zonas que lo conforman, tales como: perceptiva/intuitiva, empirista y racionalista; cada una de estas zonas tienen

un carácter explicativo mayor que su predecesora (Mortimer, 2001, 2005). Esto permitiría detectar lagunas, perturbaciones, obstáculos epistemológicos y ontológicos que pueden intervenir en la construcción de algunos conceptos, como el concepto de equilibrio químico, en el caso de la Química, por ejemplo. A través de la construcción de las distintas zonas del perfil se puede analizar la evolución conceptual del estudiante, ya que cada zona, desde la intuitiva hasta las más racionalistas, como se las ha identificado (Mortimer, 2001, 2005), están constituidas por elementos y categorías conceptuales más profundas que permiten entrar en el mundo de la reflexión y construcción de significados.

En esta investigación se pretende analizar la evolución conceptual que experimentan estudiantes universitarios y egresados de la licenciatura en Educación en la mención Ciencias Físico Naturales, en la formación del concepto de equilibrio químico, caracterizada en términos del perfil conceptual. El equilibrio químico representa un concepto fundamental dentro de la enseñanza y aprendizaje de la Química y a la vez es uno de los aspectos centrales en la formación del futuro profesional de la docencia, ya que muchas de las reacciones con que se manifiestan ciertos fenómenos en la naturaleza, se explican a través de este concepto. Por lo tanto, se plantea analizar la heterogeneidad de significados que tienen los estudiantes mencionados sobre el equilibrio químico, a través del modelo del perfil conceptual.

Se pretende documentar y registrar los distintos significados y opiniones sobre equilibrio químico que tienen los participantes de esta investigación y poder construir las zonas del perfil, a través del diseño de una estrategia que considere la intervención activa del estudiante y la técnica del cuestionario, entrevistas, grabaciones de clases, la historia del desarrollo del concepto, las ideas alternativas de los estudiantes sobre el tema.

Es importante que los estudiantes conozcan su perfil conceptual del tema planteado, ya que discutiendo y analizando las diversas opiniones es que se puede incrementar el sentido hacia cuándo y en qué contexto usar un significado u otro de manera consciente, a la vez le sirve también para cotejar el carácter científico de sus diversas opiniones y significados con la finalidad de dar explicación a

un hecho o fenómeno, viéndose incrementadas sus capacidades reflexivas, de razonamiento y madurez intelectual.

CAPÍTULO I

EI PROBLEMA

En este capítulo se plantea el problema a investigar, relacionado con el levantamiento del perfil conceptual del equilibrio químico, de un grupo de estudiantes y egresados universitarios de educación en ciencias físico naturales. El problema se define en base a unas interrogantes que engloban los principales factores involucrados, entre los cuales se pueden señalar: ideas previas, historia del concepto, aprendizaje del concepto, y evolución a través del perfil conceptual. Luego se hace referencia a la justificación de la investigación tomando en cuenta en nuevos elementos de análisis que brinda este trabajo, basado en el tratamiento de las ideas previas o preconcepciones del concepto de equilibrio químico para un cambio conceptual, desde la perspectiva del perfil conceptual. Para guiar la búsqueda de las repuestas a las interrogantes de investigación, se planteó el objetivo general y un grupo de objetivos específicos los cuales orientaron las líneas de acción para clasificar y analizar la información relacionada con la solución al problema planteado de investigación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias ha sido una tarea, en muchas oportunidades, llena de obstáculos y dificultades, cuyo origen se debe, en parte, a las características del pensamiento del estudiante, la naturaleza de la asignatura y factores didácticos.

En este caso, la Química, es la ciencia que describe el mundo micro, teniendo éste un comportamiento muy particular, regido por sus propias leyes y principios. Ella explica la estructura íntima de la materia y sus propiedades, trata de aquellos aspectos del mundo: micro, ultramicro, atómico, subatómico, a los que no se puede acceder directamente con a través de los sentidos, por lo tanto, muy alejados de la realidad que se percibe en el mundo macro o cotidiano. En conse-

cuencia, la química se expresa en un lenguaje altamente simbólico conformado por modelos en una serie de fórmulas, ecuaciones, símbolos, signos matemáticos y otros. Todo esto le confiere a la química un metalenguaje para tratar, de alguna manera, de describir ese mundo micro donde la transformación de la materia se logra representar a través de una reacción química, cuya manifestación se puede percibir, en ocasiones, a través de un cambio de color, producción de gas o formación de un precipitado.

En el proceso de enseñanza y aprendizaje, el estudiante presenta dificultades conceptuales referidas al predominio, en su explicación, de lo observable sobre lo no observable, dificultades en la representación de lo no observable, a través de modelos; manifestando, muchas veces, visiones erróneas del espacio y movimiento del mundo micro (Gómez, 1996). Estas dificultades pueden estar asociadas a características propias de los modelos utilizados, en donde los aprendices pueden tomar el modelo como un hecho estático o bien puede ser interpretado como una representación exacta de la realidad (Guevara y Valdez, 2004).

Otras dificultades son las relacionadas con el pensamiento lineal causal, simple y en un solo sentido, univariado, donde los cambios que ocurren se deben a una sola causa y no a la sumatoria de factores que intervienen en un cambio de forma irreversible en una dirección e imposible que suceda al contrario. También la confusión de la semejanza entre causas y efectos y la centralización en lo que cambia y no en lo que permanece (Gómez, 1996). Son las dificultades donde se centran las distintas visiones, creencias e ideas de los estudiantes, las cuales se constituyen en obstáculos epistemológicos y ontológicos, para apoderarse de los conceptos de la ciencia Química. Por lo tanto, el aprendizaje de Química dependerá de la superación de estas dificultades, de acuerdo a la capacidad de abstracción y de reflexión por parte del estudiante, y de la aplicación de estrategias de enseñanza adecuadas por parte del profesor o mediador, en pos de la construcción de conceptos que le permitan al estudiante adquirir una estructura conceptual con alto nivel explicativo de los fenómenos abstractos que trata la Química.

En este sentido, los estudiantes requerirán de un pensamiento reflexivo y de activar estrategias de procesamiento profundo, que se caracterizan por incor-

porar el análisis coherente y consciente de nuevas ideas, insertándolas a la estructura de conocimientos previos sobre el concepto que se pretende construir, facilitando su comprensión y así produciéndose una evolución en sus concepciones, favorecida por la interacción curricular y la influencia del ambiente cotidiano; que le permitiría a los aprendices la construcción de una red de conceptos de carácter científico en los estudios de Química. En estos estudios uno de los temas centrales es el *equilibrio químico*, ya que es el núcleo de una gran estructura que incluye los conceptos de átomo, molécula, mol, reacción química reversible y principios termodinámicos que forman parte del metalenguaje ya mencionado (Bergquist y Heikkinen, 1990).

Con relación a las concepciones de los estudiantes, se ha introducido un nuevo campo de estudio llamado cambio conceptual, el cual ha sido ampliamente estudiado por Rodríguez (1999), Schnotz, Vosniadou y Carretero (2006), Pozo, (2007), y otros; teniendo como punto de partida las teorías personales implícitas (Pozo, Pérez, Sanz y Limón, 1992; Rodrigo, Rodríguez, Marrero, 1993). Según Pozo et al, (1992, p.7) “las concepciones alternativas resultan de, o son, teorías personales implícitas con las cuales los no expertos en un área interpretan lo que sucede a su alrededor”. Estas teorías son las que deben evolucionar hacia aquellas que tengan carácter científico, con la finalidad de alcanzar un cambio conceptual y considerar a las ideas científicas como elementos racionales para la explicación de los fenómenos que rodean al hombre. La evolución desde las ideas intuitivas, hasta la construcción de ideas científicas por parte de los aprendices, se enmarca dentro de una línea de investigación llamada “cambio conceptual”, que ha tenido gran auge en las últimas décadas en la comunidad de investigadores del ámbito de la enseñanza de las ciencias.

Las primeras propuestas de cambio conceptual (Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982) estuvieron ligadas a la idea de que esa teoría implícita fuera sustituida como un reemplazo de una concepción por otra en la estructura cognitiva del aprendiz (Moreira y Greca, 2003). Sin embargo, investigadores como Mortimer, (2001; 2005), Duit, (1994; 1996), y Moreira y Greca, (2003) coinciden en que el cambio conceptual no se da por sustitución de la idea previa por la científica, sino

que las ideas previas o alternativas no son abandonadas por el estudiante, en contextos cotidianos y que se concibe la coexistencia de diversos significados e ideas para un concepto determinado.

Desde el trabajo realizado por Discoll (1960), un gran número de investigaciones han estudiado cuáles son las dificultades y errores conceptuales relacionados con el equilibrio químico (Quílez, 1997a; b). Entre las causas señaladas se encuentran las relacionadas con las dificultades del lenguaje utilizado (Bergquist y Heikkinen, 1990); alta demanda conceptual de temas relacionados (Huddle y Pilly, 1996); dificultades de tipo estequiométrico (Hackling y Garnett, 1985); deficiente capacidad en la resolución de problemas (Camacho y Good, 1989); planteamientos didácticos incorrectos (Quílez, Solaz, Castelló y Sanjosé, 1993) y empleo de un razonamiento causal lineal y secuencial (Quílez, 1997b).

De esta manera, el aprendizaje significativo del equilibrio químico, dependerá del vencimiento gradual de las dificultades mencionadas, las cuales están presentes en el pensamiento del estudiante y futuro docente, cuando en los cursos de Química se plantean situaciones de aprendizaje relacionadas con la predicción de la evolución de los equilibrios, cuando son perturbados o cuando el profesor dirige la clase para discutir aspectos relacionados con el equilibrio químico en el medio extracelular e intercelular del cuerpo humano (planteamientos de los buffers fosfato y bicarbonato en cada caso), haciendo énfasis en una zona de mayor exigencia conceptual comparada con las ideas intuitivas o creencias.

La evolución de las ideas intuitivas hacia las ideas científicas es una misión que tiene como corresponsables al docente y al estudiante, donde cada uno deberá aplicar las estrategias metodológicas, metacognitivas y evaluativas correspondientes para superar las dificultades conceptuales, logrando así un aprendizaje significativo y por ende propiciar y fortalecer el cambio conceptual (Vygotski, 1979). Superar las dificultades conceptuales en pos de propiciar y fortalecer un aprendizaje, no significa la sustitución de la variedad de ideas alternativas por ideas científicas, sino más bien implica una construcción de ideas o conceptos científicos que convivirán en la ecología conceptual del individuo junto a sus ideas intuitivas y/o cotidianas en distintas zonas dentro de un perfil, y dependerá de cada

aprendiz, la toma de conciencia para ver en qué contextos es más aplicable una noción u otra (Mortimer, 2001).

Se sostiene entonces que, una persona posee una heterogeneidad de ideas y significados sobre una palabra o concepto, que puede usar correctamente en el contexto adecuado. Es decir, los estudiantes poseen en su pensamiento una variedad de significados e ideas sobre equilibrio químico y cabe la posibilidad de que las dificultades y errores presentes en el proceso de aprendizaje del tema, se deban a que no se tiene conciencia del uso de una concepción u otra, además de la gran demanda conceptual que exige el tema como ya se mencionó.

Para conocer la evolución de las concepciones alternativas coexistentes en las personas, se propone el llamado perfil conceptual (Dos Santos y Doménech, 2005; Mortimer, 1995, 1997, 2001, 2005; Ribeiro y Mortimer, 2004; Viggiano y Rodrigues de Mattos, 2008;). El perfil conceptual permite caracterizar cada concepción en ciertas zonas que se conforman de acuerdo a los compromisos epistemológicos y ontológicos, refiriéndose los primeros a las características del conocimiento y los segundos, a la naturaleza de la función que le asigna el aprendiz a una cosa o concepto, es decir la categoría en que queda englobado el mismo. En este sentido, Mortimer, (1995, 1997, 2001, 2005) plantea que se podrían considerar desde el punto de vista bacherliano, zonas del perfil conceptual tal como: la zona intuitiva/perceptiva, empirista y la racional.

Analizando los perfiles conceptuales de los grupos de estudiantes y graduados en la licenciatura en educación en ciencias físico naturales, se podrá precisar los distintos significados que estos le otorgan al concepto de equilibrio químico, ubicando cada significado o concepción en una determinada zona del perfil y poder estudiar cuales concepciones se convierten en obstáculo para el tema planteado y minimizar las dificultades en pos de un aprendizaje significativo, enriqueciendo de significados la base de concepciones alternativas (Driver y Easley, 1978; Moreira y Greca, 2003), donde la concepción de equilibrio químico se torne más elaborada, más rica en términos de significados agregados, evolucionando sin perder su identidad.

La adquisición metacognitiva del perfil conceptual por parte de los estudiantes y graduados les proporcionaría las herramientas metodológicas y cognitivas para ubicar su concepción en un determinado nivel de desarrollo, incrementando de esta manera su reflexión y sus capacidades para el dominio del concepto en cuestión. La metacognición es necesaria para que tenga lugar el cambio conceptual (Spelke, 1991), ya que activando estrategias de autoreflexión, monitoreo, control y evaluación de la actividad mental en el proceso de aprendizaje, se ve incrementado el nivel de conciencia en el individuo para coordinar la teoría con la evidencia (Kuhn, 1988); cuestión que le es importante al estudiante a la hora de ponderar el carácter científico de sus ideas.

Tomando en cuenta lo planteado, Rodríguez (1999), dice que un aspecto central para que la coordinación se lleve a cabo, es que el sujeto debe tener conciencia de la teoría que posee, es decir, que piense en la teoría y no sólo con la teoría. Para este mismo autor, si un sujeto no es consciente de su teoría, no puede evaluar la evidencia que la soporta ni concebir su falsedad y la existencia de teorías alternativas. En este caso, el sujeto no tiene una teoría de la que sea consciente y guie su pensamiento. Cuando se enfrenta a nueva información que generalmente es contradictoria con su base de ideas, el sujeto trata de distorsionarla para intentar de coordinarla con el conocimiento existente que posee. Por lo tanto, la creación de nuevas concepciones erróneas se debe a la carencia de metacognición por parte de los sujetos sobre sus modelos mentales y creencias teóricas que constriñen los esfuerzos en la adquisición de nuevos significados, lo que obstruye la evolución hacia modelos más elaborados y más ricos desde el punto de vista científico por lo que afecta el cambio conceptual.

Debido a que no existe un modelo que permita caracterizar las concepciones alternativas de estudiantes y graduados en Educación en Ciencias Físico Naturales en el tema de equilibrio químico, se usó en la presente investigación una estrategia, basada en el perfil conceptual, que no sólo permita identificar, documentar y registrar los distintos significados en la historia del desarrollo del concepto de equilibrio químico hacia las ideas científicas del mismo, sino que haga al participante de esta investigación consciente de sus adquisiciones, para su forma-

ción, desarrollo científico y formación didáctica como futuros docentes y en ejercicio.

De estos señalamientos surgieron una serie de interrogantes cuyas respuestas dieron curso a la investigación.

INTERROGANTES DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son las categorías que constituyen el perfil conceptual de equilibrio químico, de estudiantes universitarios y graduados de la licenciatura en Educación mención Ciencias Físico Naturales?

¿Cuáles son los posibles obstáculos epistemológicos y ontológicos que forman parte de un determinado perfil conceptual del equilibrio químico en estos estudiantes, que pudieran relacionarse con el proceso de aprendizaje de este concepto?

¿Cómo influye la toma de consciencia, en graduados de la licenciatura en Educación, de sus propios perfiles, para un aprendizaje significativo del concepto de equilibrio químico?

¿Cuáles son los perfiles conceptuales sobre el equilibrio químico que presentan los estudiantes y graduados participantes?

¿Cómo es la evolución de los perfiles conceptuales del equilibrio químico de los estudiantes y graduados, en la carrera de educación mención ciencias físico-naturales?

JUSTIFICACIÓN

El tema de equilibrio químico es central y crucial para los estudiantes dentro de la formación docente en el área de las ciencias físico naturales y en especial en Química. La complejidad conceptual que tiene este tema se centra en las múltiples relaciones con otros conceptos y leyes, tales como: el concepto de mol, leyes del cálculo estequiométrico, reacción química y velocidad de reacción, entre otros. Por lo que, la variedad de concepciones o los distintos modos de pensar o conceptua-

lizar que tienen los estudiantes sobre equilibrio químico, necesitan ser sistematizados para atacar con mayor claridad los posibles obstáculos epistemológicos y ontológicos que se presentan en el proceso de aprendizaje de este tema.

Desde el punto de vista de la enseñanza, para el docente es importante conocer las ideas previas y todo el bagaje de opiniones y creencias que tienen sus estudiantes para diseñar estrategias adecuadas y proceder con las mejores herramientas con la finalidad de que ellos construyan y se apoderen de los conocimientos científicos pertinentes. El perfil conceptual está constituido por zonas que son definidas no sólo por aspectos epistemológicos, sino también aspectos ontológicos del concepto y las ideas que constituyen cada zona son apropiadas para un contexto determinado. Si se parte de la idea que el pensamiento de los estudiantes se sitúa de inicio, en algunas de las zonas del perfil según el contexto donde se encuentra éste, el profesor moverá su planteamiento didáctico de actividades de clase hacia la zona del perfil deseada (racionalista).

El modelo de perfil conceptual propone para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, conocer las concepciones alternativas de los estudiantes y acercarlas a los conceptos científicos, pero sobre todo que los estudiantes sean conscientes de su perfil para que puedan utilizar cada noción en el contexto adecuado. Por lo tanto, a través del modelo de perfil conceptual no sólo se puede analizar las distintas nociones de equilibrio químico, sino también desarrollar y potenciar capacidades en los estudiantes para que estos puedan construir ideas científicas sólidas, condición necesaria para un futuro docente en Química.

Esta investigación es importante porque contribuye a profundizar y fortalecer los estudios relacionados al cambio conceptual visto como una evolución de las diversas ideas y significados que poseen los estudiantes, que las conciben coexistiendo en las diversas zonas que conforman el perfil. También cabe señalar que la noción de perfil conceptual brinda elementos de análisis importantes al proceso de enseñanza, ya que a través del conocimiento que se tenga de los perfiles conceptuales de los estudiantes, habrá la posibilidad de diseñar estrategias para potenciar su pensamiento científico y poder tener un futuro docente con las forta-

lezas y competencias necesarias para enfrentar el reto de servir de guiador de los aprendizajes de sus futuros estudiantes.

Con base a lo planteado, el perfil conceptual es un modelo adecuado para describir y analizar la evolución de las ideas, en este caso, sobre equilibrio químico, tanto individualmente como en el ambiente social del aula, lo que podría minimizar las dificultades que esta situación acarrea.

Para instrumentar la búsqueda de las respuestas a las interrogantes de investigación, se planteó los siguientes objetivos que sirvieron para guiar este trabajo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Estudiar el perfil conceptual de equilibrio químico y su relación con el aprendizaje para la comprensión e interpretación de la formación conceptual en la ciencia química en estudiantes y graduados de la Licenciatura en Educación mención Ciencias Físico Naturales.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Identificar las categorías que constituyen el perfil conceptual del equilibrio químico en estudiantes y graduados de la licenciatura en Educación mención ciencias físico-naturales, a través de las categorías que lo componen, para el análisis de las tendencias en los perfiles de este concepto, que pudieran influir en su aprendizaje.

Interpretar el perfil conceptual de equilibrio químico en estudiantes universitarios de educación, para la identificación de posibles obstáculos epistemológicos y odontológicos que pudieran relacionarse con el proceso de aprendizaje del equilibrio químico.

Interpretar cómo influye la toma de conciencia de los graduados participantes, de sus propios perfiles, para un aprendizaje significativo del concepto de equilibrio químico.

Presentar los perfiles conceptuales de equilibrio químico, de los estudiantes y graduados de educación en ciencias físico-naturales para la comprensión de la

influencia de éstos, en el desarrollo de los estudios de la ciencia Química en la carrera de educación.

Describir la evolución de los perfiles conceptuales de los estudiantes graduados universitarios, en su formación conceptual a través de la carrera de Educación mención ciencias físico-naturales.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

En éste capítulo se describen los antecedentes que contribuyen a esta investigación con los aportes de tipo epistemológico y metodológico para documentar y estudiar los perfiles conceptuales del equilibrio químico de los estudiantes participantes. También se hará un análisis de las bases teóricas que sustentan esta investigación, las cuales involucran la perspectiva de la Química como conocimiento científico, perspectiva pedagógica en la enseñanza de las ciencias, ideas previas y errores o dificultades de los estudiantes en la concepción del equilibrio químico, que se pueden convertir en obstáculos para el cambio conceptual visto como evolución del perfil conceptual del equilibrio químico, tomando elementos del análisis del desarrollo histórico y definición del concepto de equilibrio químico, preconcepciones del equilibrio químico, desarrollo del cambio conceptual hasta la idea del perfil conceptual.

ANTECEDENTES

A continuación se describen algunas investigaciones que se han hecho en relación al tema de cambio conceptual visto como evolución conceptual y el cual se estudia bajo la noción de perfil conceptual. Estas investigaciones servirán de guía de cómo ha sido tratado el problema de la evolución conceptual a través de los cambios observados en el perfil conceptual. También estos antecedentes darán a conocer el estado actual del tema de la problemática y cómo ha sido documentado el perfil conceptual, con su contribución metodológica en la búsqueda de la toma y procesamiento de la información.

Ribeiro y Mortimer (2004) en su trabajo, titulado: Un perfil conceptual para entropía y espontaneidad: una caracterización de las formas de pensar y hablar en el aula de Química, hacen un estudio referido al uso de la noción de perfil conceptual con el objetivo de analizar el proceso de enseñanza de la termoquímica para alumnos de segundo año de nivel medio (16 a 17 años de edad).

Se recogieron datos en el aula de clase dentro de la planificación normal dispuesta por la profesora para la unidad de termoquímica. Fueron analizadas tres sesiones de una hora y cuarenta minutos cada una, dos clases fueron filmadas y transcritas por completo, y otra fue analizada a partir de las anotaciones de campo. Se propusieron tres niveles de comprensión para los principales conceptos de entropía y espontaneidad de los procesos fisicoquímicos, encontrados en el contexto histórico y en el aula. Para cada nivel se constituyó por lo menos una zona del perfil conceptual: nivel perceptivo intuitivo (zona perceptivo/intuitiva), nivel empírico (zona empírica) y nivel teórico (zona formalista y zona racionalista).

En la zona perceptivo/intuitiva del perfil conceptual están comprendidas las ideas de espontaneidad que corresponden a las impresiones inmediatas, a las sensaciones e intuiciones, sin una estructuración o sistematización de esa información. Para la zona empírica del perfil, se consideraron las ideas que surgen a partir de la disensión de experimentos o fenómenos, en el cual resaltan condiciones necesarias para que un proceso ocurra espontáneamente. El uso de la expresión $\Delta S > 0$, fue considerado como característico de la zona empírica porque, en una primera aproximación, los estudiantes tienden a considerar los valores de la variación de la entropía como una medida del aumento o disminución del desorden.

La zona formalista se caracteriza por el uso de algoritmos y fórmulas matemáticas para el análisis de los procesos, sin implicar un completo entendimiento de las relaciones conceptuales involucradas.

En cuanto a los resultados obtenidos, en el momento inicial de la clase, la discusión incluyó predominantemente ideas que podrían caracterizarse como pertenecientes a la zona perceptivo/intuitiva. A partir de la lectura de un texto, el con-

cepto de entropía fue introducido, inicialmente, con la discusión de ejemplos, lo que hizo surgir ideas características de la zona empírica del perfil. Al proseguir la lectura del libro, la entropía fue presentada en una aproximación conceptual, introduciendo la visión científica para la espontaneidad, y las ideas que aparecieron eran características de la zona racionalista del perfil. Se observó que las zonas empíricas y racionalistas surgen del texto y no del discurso de la profesora, ni el de los estudiantes.

En las sucesivas intervenciones de la profesora, introduce la expresión para la energía libre, básicamente a partir del formalismo matemático, tomando por base el texto, y los alumnos aplicaron ese formalismo matemático en la resolución de ejercicios, y se discutieron ideas predominantes en el contexto de la zona formalista del perfil.

Para el trabajo que se desarrolló, éste antecedente proporciona ciertos aportes epistemológicos definiendo para los conceptos de entropía y espontaneidad, la base para clasificar las ideas surgidas en clase que conforman el perfil conceptual respectivo. También brindan un aporte metodológico al presentar técnicas e instrumentos para recolectar la información referida a las ideas que surgen de los estudiantes en una determinada dinámica de clase.

Pozzuto y Borba (2011) en su trabajo título: “Una propuesta de perfil conceptual para o conceito de fotossíntese”, donde el propósito era hacer un estudio del perfil conceptual de fotosíntesis en un grupo de estudiantes del primer año de ciencias de bachillerato en una escuela brasileña. Estos investigadores elaboraron un test, basándose en el desarrollo histórico del concepto de fotosíntesis y en los estudios relacionados con las concepciones alternativas de este concepto (Bandeira, 2011). Este test busca revelar las concepciones de los estudiantes sobre el concepto en estudio, haciendo preguntas abiertas que permitiesen la mayor libertad a los estudiantes en el acto de dar las respuestas. Estas facilitan la exploración de lo que realmente piensan los estudiantes sobre el concepto en cuestión, lo cual permite la obtención de una variedad mayor de respuestas, y en las que los estudiantes muestran claramente sus conflictos y lagunas. La primera zona la llamaron

“externa” que se caracterizan por el conocimiento de algunas de las variables que forman parte del proceso de fotosíntesis.

Cabe destacar que para la definición de esta zona, se basaron en la definición de la zona propuesta por Coutinho, Mortimer y El-Hani (2007a; b) llamada externalismo y que guarda semejanza con la zona llamada realismo ingenuo de Bachelard (2009) y la zona sensorista de Mortimer (2000) que representa las primeras impresiones de las personas sobre un concepto determinado. También fueron incluidas en esta zona, tanto, concepciones que se han presentado históricamente, como concepciones de los estudiantes.

La segunda zona la llamaron zona interna. En esta zona además del reconocimiento de las variables que hacen parte del proceso de fotosíntesis, hay comprensión de que ellas participan de procesos en el interior de la planta. Esta zona también guarda relación con una de las zonas propuestas por Coutinho, Mortimer y El-Hani (2007a; b) y guarda semejanza con los principios del sustancialismo de Montimer (2000), que se caracterizan por reconocer el concepto a partir de un cuerpo de nociones interrelacionadas. De manera general, los estudiantes reconocen la función de las variables (H_2O , luz, CO_2 y clorofila) necesarias para que ocurra el proceso en especial la clorofila.

La siguiente zona se llama relacional, que se caracteriza por contemplar respuestas en que los estudiantes relacionan variables y/o procesos involucrados en la fotosíntesis. Los estudiantes establecen relaciones, por ejemplo, entre fotosíntesis y respiración.

Una última zona denominada Compleja, que trata de las definiciones en que hay comprensión de las funciones de las variables, de las relaciones entre ellas y de las relaciones entre las diferentes etapas del proceso de la fotosíntesis. Esta zona se puede relacionar con la llamada mecánico-cuántica de Mortimer (2000) entendida por la complejidad de los procesos incluyendo cálculos matemáticos avanzados. Algunos procesos involucrados dentro de la fotosíntesis pueden ilustrar esa complejidad tales como los procesos de fotofosforilación, fotosistemas, fotólisis, ciclo de Calvin entre otros, que son etapas interdependientes que forman parte del proceso en cuestión.

Se considera entonces, que este antecedente da un aporte metodológico al desarrollo de ésta investigación con el diseño, elaboración y aplicación del test, que fue construido para que afloraran la mayor cantidad de ideas en los estudiantes para el concepto de fotosíntesis y poder documentar y caracterizar las zonas del perfil conceptual.

En el trabajo de Coutinho, Mortimer y El-Hani (2007 a; b) titulado: "Construcción de un perfil conceptual de vida" se realizó la búsqueda de las zonas de perfil, por medio de un juego dialógico entre estudios teóricos y empíricos, en el cual se utilizó una variedad de fuentes de datos abarcando por lo menos tres dominios genéticos: el dominio sociocultural, por medio de un repaso bibliográfico acerca del concepto de vida y su historia; el ontogenético, por medio de recopilación de estudios acerca de las concepciones alternativas de estudiantes del concepto de vida y del análisis de qué manera ese concepto es tratado en libros didácticos utilizados por los estudiantes de licenciatura en Ciencias Biológicas, en las más diversificadas áreas; y el microgenético, a través de la recogida de datos empíricos por medio de cuestionarios, aplicados a estudiantes de licenciatura en Ciencias Biológicas.

Para explorar la diversidad de ideas acerca del concepto de vida y posibilitar el surgimiento del mayor número posible de zonas para ese concepto, se aplicó un cuestionario a estudiantes de un curso superior en Ciencias Biológicas de la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG), de distintos niveles académicos. El cuestionario contenía cuatro preguntas, que se establecieron a través de las evidencias reunidas en los estudios relacionados con los dominios genéticos de Vygotski ya mencionados. Este cuestionario fue validado y perfeccionado por medio de su aplicabilidad a estudiantes de enseñanza media (Silva, 2003) y estudiantes de la licenciatura en Ciencias Biológicas de la UFMG (Cunha y Col, 2003) A manera de ejemplo, la primera pregunta del instrumento era: "Para usted, ¿qué es vida?" es de naturaleza abierta y divergente en el sentido que tiene como objeto suscitar una diversidad significativa de respuestas, de manera de promover, probablemente el surgimiento de varias zonas del perfil conceptual de vida.

Para la construcción de los perfiles, se contó el número de veces que el estudiante utilizó las categorías que componen cada zona. Cuanto mayor es el número de categorías usadas en cada zona mayor es la extensión de esa manera de ver en el individuo considerado.

Entonces se puede notar, que en este trabajo se aplica un cuestionario basado en los dominios genéticos nombrados anteriormente, constituyendo un aporte metodológico a nuestra investigación. También brinda todo un tratamiento a la información derivada de las respuestas del cuestionario, en forma de categorías, para definir la presencia de las zonas del perfil conceptual de vida en la muestra descrita. Esto sin duda significa un aporte epistemológico y metodológico importante que sirvió de guía para definir y caracterizar las zonas del perfil conceptual del equilibrio químico en los informantes del estudio.

BASES TEÓRICAS

Esta parte se fundamenta, en exponer y analizar las teorías, o perspectivas teóricas y conceptualizaciones en general, que le dieron sustento al problema de investigación de tesis doctoral y al que se dio respuesta a través de una metodología válida y confiable. Estas teorías estarían relacionadas con los planteamientos referidos a: la Química como conocimiento científico, al equilibrio químico como concepto dentro de la perspectiva química, historia del concepto al cambio conceptual, la perspectiva didáctica de la Química, ideas previas y errores conceptuales, obstáculos epistemológicos y ontológicos, cambio conceptual y perfil conceptual. En base a estas teorías, serían analizados y discutidos los resultados de esta investigación.

Perspectiva Química como conocimiento científico

La Química, es una disciplina científica, cuyo objetivo principal es el estudio de la composición íntima de la materia, sus características, propiedades y transformaciones, para lo cual presenta toda una estructura conceptual y lingüística propia de su naturaleza.

Los conceptos como átomo, compuesto, reacción química, equilibrio químico, y los conceptos referidos a la termodinámica, el modelo cinético molecular y

otras entidades conceptuales con elevado nivel de abstracción, conforman toda una red conceptual, donde el significado de cada concepto específico está determinado por la interrelación con otros. Se genera así toda una trama conceptual que determina el contexto en el que ese significado específico tiene sentido (De Voss, Berkel y Verdonk, 1994).

Los significados de conceptos centrales en Química según Chi, Slotta y De Leew, (1994) han ido cambiando de categoría ontológica, a la vez que se han ido modificando las relaciones entre ellos en los diferentes contextos históricos (Rocha, 2005). Un ejemplo de esto es el concepto de reacción química que puede tener un significado fenomenológico, asociado a ejemplos que pudieran estar relacionados con reacciones que se pueden visualizar sus efectos en la vida cotidiana; pero que un significado más adecuado al contexto de la Química de hoy, estará relacionado y condicionado por el concepto de sustancia y sobre todo por el de cantidad de sustancia (mol) y éste a su vez por el de las propiedades de las sustancias en función de su estructura.

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. 'En la composición íntima de los sistemas materiales, se encuentran los átomos y moléculas que interactúan de múltiples maneras, como consecuencia de las distintas formas de enlazarse, atraerse y hasta de repelerse entre sí, y es a través de distintos modelos, que el ser humano puede explicar una realidad a la que no puede acceder de manera directa a través de sus sentidos, por lo que tiene que activar un alto nivel de abstracción para llegar a comprender todos aquellos fenómenos a nivel micro y ultra micro que suceden en los sistemas materiales.

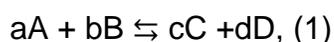
Parte de la abstracción de la Química la representan sus propios conceptos, tal como lo es en este caso el equilibrio químico, que representa uno de los aspectos complejos y centrales de esta ciencia, el cual involucra varios conceptos adicionales tal como: reacción química, velocidad de reacción, entropía, entalpia, energía libre y todas las condiciones físico-químicas bajo la cual se da dicho equi-

librio. A continuación se describen algunos aspectos del equilibrio químico, desde su definición hasta su desarrollo histórico, lo cual brinda elementos importantes sobre la génesis del concepto y de su propia definición, que pudieran relacionarse de alguna manera con las múltiples visiones y formas de pensar de este concepto bajo la noción del perfil conceptual (Mortimer, 2000).

Definición del equilibrio químico

En un proceso químico, el equilibrio químico es el estado en que las actividades químicas o las concentraciones de los reactivos y los productos no tienen ningún cambio neto en el tiempo. La velocidad de reacción entre los reactantes es igual a la que se da entre los productos.

Las reacciones de tipo:



representan reacciones reversibles (Dick, 1979) donde A y B reaccionan a una velocidad finita dada para formar C y D. A medida que la concentración de A y B disminuyen debido a la reacción, se reduce la velocidad de la reacción A + B. Sin embargo, conforme aumentan las concentraciones de C y D por la reacción, se acrecienta la reacción de C + D. Finalmente, la velocidad de las reacciones A + B y C + D se igualan para las condiciones de temperatura dadas. En este punto, se establece lo que se denomina equilibrio dinámico (Dick, 1979; Halmilton, Simpson y Ellis, 1981) en el que las concentraciones de A, B, C y D no varían. A este equilibrio se le denomina también equilibrio de acción de masas, de acuerdo al principio que lo rige que también recibe el nombre de “principio de acción de masas”. Aunque la constante que relaciona las cantidades de los productos entre reactantes se le denomine constante de acción de masas, el término no es rigurosamente concreto, ya que los factores que influyen son generalmente las concentraciones y no las masas (Halmilton, Simpson y Ellis, 1981; Mahan, 1977).

Los cálculos de acción de las masas, incluyen electrolitos en solución. Puesto que las soluciones de electrolitos se vuelven cada vez más concentradas, el efecto cuantitativo en las propiedades, como la conductividad y la disminución en el punto de congelación, se va haciendo progresivamente menor que el cálculo

sólo a partir del cambio neto en concentración molar. Así mismo, esto es cierto para el equilibrio de acción de masas. En soluciones diluidas, las fuerzas de interacción entre electrolitos disminuyen debido a que iones provenientes de la disociación de ácidos o bases relativamente fuertes, se encuentran más distanciados entre sí.

Para obtener resultados exactos en las expresiones de acción de masas debe usarse las actividades o concentraciones efectivas, más que usar las concentraciones molares. La actividad a de un ion o molécula puede encontrarse multiplicando su concentración molar C por un coeficiente de actividad f .

$$a=c.f \quad (2)$$

Un coeficiente de actividad es, por tanto, un factor que convierte una concentración molar en un valor que expresa cuantitativamente el verdadero efecto de acción de masas. Así la constante de ionización del ácido acético se expresa en

$$\text{forma concreta de la siguiente manera: } K = \frac{f_1[H^+]x f_2[C_2H_3O_2^-]}{f_3[HC_2H_3O_2]} \quad (3)$$

Los coeficientes de actividad varían con la temperatura y en general, decrecen con un aumento en la concentración. El coeficiente de actividad del HCL 0,01M es 0,92, el HCL 0,05M es 0,86 y el HCL 0,10M es 0,82 (Halmilton, Simpson y Ellis, 1981). También, en general, en las mismas condiciones de concentración y temperatura, los coeficientes de actividad de los electrolitos con estados de oxidación del tipo $A^+ B^-$ son mayores que los de tipo: $(A^+)_2 B^-$ y $A^{++} (B^-)_2$ y éstos aún mayores que los de tipo $A^{++} B^-$. Por ejemplo, el coeficiente de actividad del $BaCl_2$ 0,01M es 0,72; y el de $MgSO_4$, 0,01M es 0,40. La actividad de un electrolito también está influenciada por la presencia de otro electrolito en solución. En el caso de soluciones diluidas (por ejemplo 0,01M o menores) y particularmente los que requieren iones univalentes, los coeficientes de actividad no están muy lejos de la unidad, de manera que no se introduce un gran error, cuando se usan concentraciones molares en vez de actividades.

Las reacciones reversibles en las que las especies reactantes y productos intervienen en diferentes fases, constituyen equilibrios heterogéneos, como en las

reacciones de formación de precipitados a partir de reactantes en fase líquida, o en los sistemas donde coexisten dos o más fases en equilibrio (Caicedo, 2007). Como ejemplo se tiene la reacción de calcinación del carbonato Calcio en un recipiente cerrado:



Aunque se puede escribir la siguiente expresión para la constante de equilibrio:

$$K = \frac{[\text{CaO}][\text{CO}_2]}{[\text{CaCO}_3]} \quad (3)$$

Se puede escribir solamente: $K_c = [\text{CO}_2]$ y $K_p = P_{\text{CO}_2}$

Debido a que en la expresión de la constante de equilibrio se incluyen reactivos y productos cuyas concentraciones y/o presiones parciales puedan cambiar durante una reacción química. En la descomposición de $\text{CaCO}_3 (\text{s})$, el CO_2 es un gas cuya concentración se incrementa desde sus valores iniciales hasta cuando el equilibrio final de la reacción es alcanzado. Sin embargo, aunque las cantidades de $\text{CaCO}_3 (\text{s})$ y de $\text{CaO} (\text{s})$ cambian durante la reacción, la concentración de un sólido puro permanece constante, al igual que su densidad, depende de la cantidad de sustancia presente, es decir es constante.

Otro aspecto importante relacionado a la definición del equilibrio químico, desde el punto termodinámico es el control de variables. A temperatura y presión constante, la energía libre de Gibbs (ΔG) es uno de los conceptos que forman parte de una red de significados que engloba el cálculo de la constante de equilibrio.

Partiendo del concepto de potencial químico ($\mu = \frac{G}{n}$) (Olivares y col, 1992), para una reacción:

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$$

la expresión del cambio de energía sería la siguiente:

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \left[\frac{(P_C)^c \cdot (P_D)^d}{(P_A)^a \cdot (P_B)^b} \right] \quad (4),$$

donde ΔG , es el cambio de energía libre en cualquier momento de la reacción, bien sea fuera o en el mismo equilibrio. En cualquier momento fuera del equilibrio el cociente:

$$\left[\frac{(P_C)^c \cdot (P_D)^d}{(P_A)^a \cdot (P_B)^b} \right] = Q_p \text{ por lo tanto:}$$

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q_p \quad (5)$$

Si estuviéramos en una situación de equilibrio

$$\Delta G = 0 \text{ y } Q_p = K_p \text{ (} K_p = \text{ constante de equilibrio)}$$

$$0 = \Delta G^\circ + RT \ln K_p \text{ por lo tanto:}$$

$$\ln K_p = - \Delta G^\circ / RT \text{ y}$$

$$K_p = e^{-\Delta G^\circ / RT} \quad (6)$$

De las expresiones anteriores también se deriva que $\Delta G^\circ = - RT \ln K_p$, por lo que sustituyendo en la ecuación 10 tenemos que:

$$\Delta G = - RT \ln K_p + RT \ln Q_p$$

y se puede decir que sacando el factor común, queda:

$$\Delta G = RT \ln(Q_p/K_p) \quad (7)$$

Esta última ecuación es importante en el establecimiento de la relación Q_p/K_p que a P y T constante nos daría noción donde se mueve el equilibrio químico cuando es perturbado. El principio de Le Chatelier juega un papel fundamental en la predicción del desplazamiento de un sistema que inicialmente está en equilibrio y luego es perturbado. El sistema se desplazará de manera tal de reducir al mínimo la perturbación y alcanza de nuevo el equilibrio. Por ejemplo si agregamos más reactantes va el denominador. Si se tiene que $Q_p < K_p$ entonces, el proceso espontáneo es la reacción directa, la cual consume reactantes y disminuye la perturbación. Si la perturbación consistiera en agregar más productos, la reacción se desplazaría para consumir productos.

Tal como está planteado este principio, el mismo se ha aplicado como principio infalible sin tomar en cuenta la estequiometría de la reacción (Levine, 1999) y el control de variables experimentales para preceder correctamente tanto el desplazamiento de una reacción hacia el equilibrio, como el efecto sobre la masa y la concentración, convirtiéndose el mismo principio en un obstáculo epistemológico para el aprendizaje del equilibrio químico (Quílez, 1997 a,b; 1998). Para comprender como ha sido el proceso de conceptualización del equilibrio químico, se hará

referencia a su evolución histórica, la cual puede brindar elementos de análisis, a partir de la génesis del concepto.

Evolución histórica del concepto de “equilibrio químico”

La importancia de describir la evolución histórica del concepto del equilibrio químico, radica en que ésta forma parte de lo que Vygotski llamó dominio histórico social (Vygotski, 1962; 1981 y Wertsch, 1988), que permite estudiar la evolución del concepto desde su génesis hasta sus visiones actuales, y donde la Química como ciencia brinda sus aportes desde la experimentación y la teorización en una construcción continua del concepto a través de distintos períodos de tiempo (Alemañ, 2012; Quílez, 2002). Este dominio, se toma como base en la elaboración de instrumentos para documentar el perfil conceptual del equilibrio químico (Mortimer, 1995, 2000).

Algunas fuentes bibliográficas brindan información sobre desarrollo histórico del concepto del equilibrio químico (Mierzecki, 1991; Bensaude y Stengers, 1997; Brock, 1998; Van Driel, de Vos y Verloop, 1998; Justi y Gilbert, 1999; Quílez, 2002; y Alemañ, 2012;) y parten con la introducción del término de afinidad química (del siglo XVIII) hasta las publicaciones de Lewis de comienzos del siglo XX, período donde se construyeron las principales ideas sobre el equilibrio químico que se discuten y se desarrollan en los cursos de Química universitaria. Sobre la base del trabajo de Justi y Gilbert (1999) que definieron modelos históricos para la cinética química, se extrajeron tres modelos históricos del equilibrio químico que son considerados como los distintos ángulos con que ha sido explicado este concepto a lo largo de su evolución histórica (Raviolo, 2003, 2005 y 2007):

1) Modelo centrado en las fuerzas.

Este modelo se puede citar dentro de un paradigma mecánico. Puede haber dos versiones de este modelo:

- a) El de las afinidades electivas: las fuerzas de atracción y repulsión dependen sólo de la naturaleza de las sustancias por ejemplo: Bergman, Bufón, Boyle (Raviolo, 2007) y b) El modelo de acción de masas: las fuerzas son proporcionales a

las masas de sustancias reaccionantes por ejemplo: Wenzel, Berthollet, Guldberg y Waage, en 1864, (Raviolo, 2007).

Así, ninguna reacción sería completa, dado que se establece una situación de equilibrio entre fuerzas opuestas cuya magnitud depende tanto de la diferencia de afinidades como de las proporciones relativas.

2) Modelo centrado en las velocidades.

Tal como lo señala Raviolo (2007) incluye todas aquellas investigaciones que hablan de velocidades de reacción, su igualdad en equilibrio y la determinación cinética de la constante de equilibrio K (por ejemplo: Wilhelmy, Williamson, Pfaundler, Guldberg y Waage, Van'tHaff, en 1877). La velocidad de reacción es proporcional a las masas activas de las sustancias reaccionantes. En el equilibrio químico el número de moléculas que se están descomponiendo en un cierto tiempo es igual al número de moléculas que se están formando.

3) Modelo centrado en la energía.

Abarca todas aquellas ideas que introducen el cálculo matemático de la termodinámica en el estudio de las reacciones químicas. Existen dos enfoques de este modelo:

- a) El primer principio: en su origen consideró que el calor desprendido en una reacción era una medida de la afinidad química, por ejemplo: Berthollet (en 1864), y Thomsen (en 1854). Allí el estado de equilibrio de un sistema se logra cuando se produce un trabajo máximo y alcanza un potencial energético mínimo.
- b) El segundo principio: con la introducción de una nueva función termodinámica, la entropía, por parte de Clausius (en 1865), (por ejemplo: Horstman, Gibbs, Van'tHoff, en 1884). El estado de equilibrio se logra cuando un sistema químico alcanza un potencial termodinámico (no energético) mínimo. Es decir, un sistema está en equilibrio cuando su energía libre (a presión y temperatura constante) tiene el valor mínimo.

Es importante señalar que todos estos modelos e ideas que se tienen sobre el desarrollo histórico del concepto de equilibrio químico, no se desarrollaron ni se

definieron en una única vez en forma clara y definitiva por Guldberg y Waage en 1864 tal como lo señalan algunos libros de texto (Moore, 1953; Partington, 1964; Ihde, 1964; Leicester, 1967, Mierzecki, 1991) sino que fue el resultado de un proceso de construcción, donde progresivamente se fue depurando y precisando. Fue un proceso en el que participaron varios investigadores que se llevó a cabo tomando en cuenta trabajos realizados por otros investigadores (por ejemplo: Berthollet y St. Gilles, 1862; Brodie, 1863; Ostwald, 1877) incluso hasta la autoría de la ecuación de equilibrio, resulta incierta ya que Van'tHoff (en 1877) introdujo el signo K y lo formalizó matemáticamente, dos años antes que Guldberg y Waagne (Raviolo, 2007).

Uno de los aspectos relevantes de Guldberg y Waagne sobre la ley de acción de masas tal como la formularon, fue el relacionado con el dinamismo del equilibrio químico, tomando en cuenta la cinética de las reacciones, con un caso correspondiente al estado estacionario en el que las variables macroscópicas del sistema no variaban con el tiempo. Este era entonces, un punto de vista contradictorio al de los antiguos griegos quienes buscaban en las situaciones de equilibrio estático los principios generales de la mecánica (Alemañ, 2012).

En la antigua Grecia, el mundo material se exploraba bajo tres nociones principales: “equilibrio”, “simetría” y “dinámica. La noción de “equilibrio” fue influyente de manera notable, en los razonamientos que condujeron al matemático Arquímedes (287 a.c. – 212 a.c.) hasta la ley de la palanca, que posiblemente haya sido la primera ley mecánica enunciada en la historia (Alemañ, 2012), en la que jugaba un papel fundamental la condición de equilibrio. La importancia del tratamiento arquimediano de palancas y balanzas, responde a que la balanza, se divide imaginariamente en dos subsistemas, ambos brazos de la balanza, entre los cuales se impone un requisito de simetría (la igualdad de pesos y distancias, por ejemplo) a fin de garantizar el estado de equilibrio.

La costumbre Helénica de reducir los problemas mecánicos a situaciones estáticas, cambió definitivamente con la resolución newtoniana. La ciencia newtoniana ofrecía una definición del estado de fuerzas participantes

$$\sum F_i = 0 \quad (8)$$

El equilibrio estático quedaba asimilado como un caso dinámico particular, pero también se abría la puerta a la idea de un equilibrio dinámico.

Entonces, existe una similitud estructural entre la ley del equilibrio enunciada por Guldberg y Waagne, y el equilibrio de la balanza estudiado por Arquímedes. A este último se llegaba por la igualdad entre dos condiciones formadas por el sistema material (las longitudes d_1 y d_2 de los brazos de la balanza) y una acción externa (los pesos aplicados a cada uno de ellos) de modo que:

$$d_1 f_1 = d_2 f_2 \quad (9)$$

En la formulación de los químicos noruegos se encuentra asimismo el producto de una propiedad típica del sistema (los coeficientes de afinidad K_1 y K_2) y una variable externa (las concentraciones de las especies químicas presentes), de donde:

$$K_1 [A] [B] = K_2 [A]^1 [B]^1 \quad (10)$$

En todo caso Gibbs, fue quien proporcionó la expresión funcional correcta para la constante de equilibrio con su dependencia de la energía y la temperatura

$$K_{eq} = e^{\frac{-\Delta G}{RT}} \quad (11).$$

Sin embargo fue Guldberg y Waage quienes llegaron a enunciar la ley del equilibrio químico al investigar la cinética de las reacciones químicas abarcando el aspecto dinámico. Entre los casos correspondientes, estaba el referido al del estado estacionario en el que las variables macroscópicas del sistema no variaban con el tiempo. Este punto de vista era radicalmente opuesto al de los antiguos griegos, quienes buscaban en las situaciones de equilibrio estático los principios generales de la mecánica. Aunque en términos macroscópicos las concentraciones no cambian una vez alcanzado el equilibrio, en un nivel microscópico se produce una constante interconversión de especies químicas (Alemañ, 2012).

Se puede afirmar que, existe una similitud estructural entre los planteamientos de Guldberg y Waage y el equilibrio de balanza estudiado por Arquímedes. A éste último se llegaba por la igualdad entre dos condiciones formadas por el producto de una característica propia del sistema material (las longitudes d_1 y d_2 de los brazos de la balanza) y una acción externa (los pesos aplicados en cada uno

de ellos), lo que da como resultado $d_1f_1 = d_2f_2$ (ecuación 2). En la formulación de Guldberg y Waage, el producto de una propiedad típica del sistema (los coeficientes de afinidad K_1 y K_2) y una variable externa (las concentraciones de las especies químicas presentes), de donde $K_1[A][B] = K_2[A'][B']$.

En cuanto a las perturbaciones de un sistema en equilibrio químico, fue el químico francés Le Chatelier quien pretendió estructurar la teoría química de modo análogo (Alemañ, 2012).

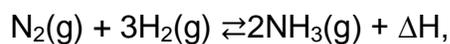
En el ámbito estrictamente químico, fue Van't Hoff quien enunció la ley de desplazamiento de los equilibrios químicos o equilibrio móvil, según la cual un equilibrio se desplaza ante una reducción de temperatura hacia un estado en el que genere calor (Van't Hoff, 1884). Pero fue Le Chatelier, quien propuso generalizar el enunciado de Van't Hoff para ampliar su alcance a otros factores además de la temperatura, y elevándolo a la categoría de ley fundamental. Alemañ (2012), hace referencia al enunciado de Le Chatelier de la siguiente manera:

Todo sistema en equilibrio estable sometido a una causa exterior que tiende a hacer variar su temperatura o su condensación (presión, concentración, número de moléculas por unidad de volumen) en su totalidad o solamente en sus partes, sólo puede experimentar unas modificaciones interiores que, de producirse solas, llevarían a un cambio de temperatura o de condensación de signo contrario al que resulta de la causa exterior. p.(53)

La presunta universalidad del principio de Le Chatelier, junto a su utilidad práctica en numerosos procesos industriales, lo hizo muy popular, y lo elevaron a regla infalible.

Con los estudios de variables termodinámicas, aparecieron serias dudas en contra de su universalidad y de su carácter infalible. Se hizo ajeno a las particularidades de los equilibrios heterogéneos y los reactivos limitantes, e incapaz de un efectivo control de variables.

Al considerar la síntesis del amoníaco como una reacción exotérmica:



donde ΔH es el calor de la reacción desprendido; si se perturba el equilibrio dado, aumentando la temperatura a volumen constante, se puede afirmar que el sistema en equilibrio reaccionaría en el sentido que el amoníaco se descompone en hidrógeno y nitrógeno. Pero, también se producirá un número mayor de moles (la suma de los correspondientes de N_2 y de H_2) y en consecuencia aumenta la presión, porque la perturbación se lleva a cabo a volumen constante, por lo tanto la generación del producto se ve favorecida y en este caso el principio de Le Chatelier no puede resolver el problema.

La predicción sobre la evolución de un sistema químico que le ha sido perturbado su estado de equilibrio, hacia el restablecimiento de su situación de equilibrio, puede basarse en criterios termodinámicos tal como se afirmó anteriormente. Definiendo primero el grado de avance de la reacción $d\xi$ como la variación del número de moles de especie química entre su coeficiente estequiométrico,

$$d\xi = dn_i/v_i \quad (12)$$

se tiene que:

$$dG = \Delta_r G d\xi \quad (13)$$

donde $\Delta_r G$ es el incremento de energía libre de la reacción considerada. Como

$$dG = dQ - dQ_{\text{rev}} \quad (14)$$

y siempre $dQ_{\text{rev}} \geq dQ$, entonces $dG \leq 0$ en toda reacción librada a sí misma. En consecuencia, si $\Delta_r G \leq 0$ y $d\xi > 0$, los reactivos se transforman en productos; con $\Delta_r G > 0$ y $d\xi < 0$, los productos se transforman en reactivos, y si $\Delta_r G = 0$ y $d\xi = 0$ la reacción se halla en equilibrio termodinámico.

Se podría afirmar que aunque el principio de Le Chatelier es de uso restringido, tiene cierta utilidad en la comprensión de desplazamientos de los equilibrios químicos ante una perturbación externa tal como añadir, a presión y temperatura constantes, cierta cantidad de reactivo o de producto. Sin embargo no debemos olvidar que el principio de Le Chatelier no es una regla infalible, ni su aplicación para predecir el desplazamiento hacia el equilibrio, de todos aquellos sistemas

perturbados, no garantiza una conclusión correcta sobre el comportamiento de un sistema en equilibrio químico.

En relación al desarrollo histórico del concepto del equilibrio químico, se puede señalar la gran importancia que tiene este, al brindar elementos de análisis que ayudan a la comprensión de la génesis del concepto, y al que llamó Vygotski dominio socio-cultural, que está representado por la historia de las ciencias, específicamente se refiere al desarrollo histórico de los conceptos científicos, ya que muchas de las ideas en el proceso de construcción racional de un concepto determinado, (Vygotski, 1962; 1973; 1981), pudieran guardar relación con las distintas formas que tiene hoy en día un estudiante de conceptualizar el equilibrio químico. En los puntos siguientes a desarrollar, se describen aspectos relacionados al proceso de enseñanza aprendizaje de la Química, y del estudio de las ideas que tienen los estudiantes sobre el equilibrio químico, que ayudan a comprender la existencia de un perfil de este concepto (Mortimer , 2000).

Perspectiva didáctica en la enseñanza de la ciencia Química

En todo proceso de enseñanza y aprendizaje, el conocimiento generado por la ciencia se incorpora a la planificación de la enseñanza, a manera de información sistematizada, la cual aporta al acto de planificación didáctica toda la carga epistemológica del conocimiento. Para el aprendizaje, la información organizada en contenidos, plantea para quien aprende un proceso gradual de vencimiento de dificultades, en el cual la historia previa del estudiante, es decir, sus ideas previas (Bello, 2004), preconcepciones (Osborne y Wittrock, 1.983; Osborne y Freyberg 1985; Oyarbide, 2004;) o ideas alternativas entre otras, y los procesos cognoscitivos son puntuales de análisis de las alternativas de aprendizaje

En la transformación del conocimiento de la Química en contenido de enseñanza, es decir, en la transposición didáctica, el lenguaje como sistema notacional, adquiere rango de un metalenguaje o lenguaje fórmula, cuyo código está integrado por conceptos , leyes y definiciones, sus expresiones simbólicas y de significados, además de todo un conjunto de relaciones lógico matemáticas expuestas por las igualdades y expresiones aportadas por el Álgebra, el Cálculo y la Geo-

metría, tales como el cálculo e interpretación de la constante de equilibrio entre otros y los conceptos de energía libre de Gibbs, entalpía y entropía, molaridad, presiones parciales, ecuación de estado de los gases ideales, entre otros, forman parte del metalenguaje, que conforma una estructura conceptual, que requiere de la puesta en práctica de estrategias de aprendizaje que faciliten la formación de conceptos dentro de la Química.

Este vencimiento gradual de dificultades conceptuales, es llevado a cabo bajo el enfoque del constructivismo (Ausubel, 1978; Ruiz, 2004), que parte del hecho de que los individuos construyen el conocimiento a partir de sus ideas previas o concepciones alternativas que surgen de la interacción de los individuos con su entorno, con el fin de darle sentido a éste.

Para el constructivismo, las personas se sitúan ante un determinado aprendizaje dotadas de ideas y concepciones previas (Bello, 2004; Oyarbide, 2004). La mente de los estudiantes, como la de cualquier persona, posee una determinada estructuración conceptual que supone la existencia de auténticas teorías personales y que no siempre son coherentes con las teorías científicas. Muchas de estas teorías o ideas alternativas que poseen los estudiantes en el campo del aprendizaje de la ciencia Química, se transforman en verdaderas dificultades epistemológicas y a veces ontológicas, cuando el aprendiz pretende construir un concepto en este caso el del equilibrio químico. El aprendizaje de éste concepto implica poner en marcha estrategias profundas de procesamiento de la información por parte del aprendiz, debido a la relación conceptual del equilibrio químico con otros conceptos dentro de la Química y en otras ciencias. A través de la didáctica de la Química, se debe conocer cuáles son esas ideas previas que tienen los estudiantes sobre los conceptos de esta ciencia, para que las estrategias que se desarrollen en el aula, permitan una sólida formación conceptual científica del estudiante, para lograr así un aprendizaje significativo, hecho que no sólo demuestra que ha habido un cambio conceptual sino también cuanto ha sido la fortaleza de dicho cambio. Por lo tanto, es importante que el proceso didáctico planifique la enseñanza a partir de las ideas previas o alternativas que tienen los estudiantes sobre los conceptos que deben construir en la ciencia Química.

Ideas previas

Generalmente los sujetos o los individuos construyen ideas para interpretar y explicar sucesos naturales cotidianos (Garritz, 2000) llamadas “ideas previas”, las cuales tienen como características que son distintas a las explicaciones científicas y, no son ideas que cambian fácilmente con la enseñanza de la ciencia en la escuela. Bello (2004) señala que, las ideas previas son construcciones que los sujetos elaboran para dar respuesta a su necesidad de interpretar fenómenos naturales o conceptos científicos, y para brindar explicaciones, descripciones o predicciones. Son construcciones personales, pero a la vez universales, es decir, que para muchos conceptos, se han identificado los mismos tipos de ideas en distintas partes del mundo (Mortimer, 2000, p.55) y que son muy resistentes al cambio; y persisten a pesar que el sujeto cumple con períodos de escolarización incluso especializada. La persistencia de estas ideas son tan influyentes en el aprendizaje, que son capaces de existir en el pensamiento del individuo, durante muchos años lo cual se ha comprobado en los cursos de ciencias universitarios donde a pesar de ser estudiantes regulares, que se supone han desarrollado habilidades, estas ideas están presentes, constituyéndose un verdadero obstáculo para el aprendizaje de conceptos científicos (Bodner, 1987).

Conviene señalar que existen precedentes sobre el estudio de las preconcepciones (Oyarbide, 2004; Osborne y Wittrock, 1983), que han llamado la atención sobre la “prehistoria del aprendizaje” (Vygotski, 1973), se han referido al hecho de que a menudo “se conoce contra un conocimiento anterior” es decir, que un nuevo concepto se construye a partir de lo que individuo ya conoce previamente (Bachelard, 1976). También es importante señalar los trabajos de Piaget (1971), que plantean el rastreo del origen psicológico de las nociones hasta sus estudios precientíficos, o de Ausubel (1978) quién llega hasta afirmar: “si yo tuviera que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría este: averígüese lo que el alumno ya sabe y enséñese consecuentemente.”

Según McDermott, (1984) los conocimientos previos parecen dotados de cierta coherencia interna y esto es lo que justifica que autores como Driver y Eas-

ley (1978), hablen de “esquemas conceptuales” y no de simples preconcepciones aisladas, también son comunes a estudiantes de diferentes medios y edades, y son persistentes, es decir, no se modifican fácilmente mediante la enseñanza habitual, (White y Gunstone, 1989; Pozo y Carretero, 1992; Fetherstonhaugh y Treagust, 1992; Duit, 1994).

Debido a la persistencia de las ideas previas, muchas de ellas se convierten en verdaderas teorías personales llamadas teorías implícitas, pero que guardan ciertas diferencias con las teorías científicas. Tal como lo señalan Chi, Glaser y Rees, (1982); Rodrigo (1985); Voss, (1986) y Pozo y Carretero, (1989), ambas están compuestas por conceptos organizados entre si y el tipo de organización parece ser distinta. Estudios han demostrado que difieren significativamente.

Según estos estudios, los no expertos suelen tener un conocimiento con escasa organización jerárquica, mientras que los expertos subordinan todas sus ideas a unas pocas leyes o principios generales. Además las ideas más elevadas dentro de la teoría del “novato” suelen ser ideas poco conectadas entre sí. Flavell (1985, p. 89) señala que: “en la red conceptual almacenada por el experto hay múltiples rutas de cada uno de los conceptos a los demás; por lo que se puede decir que cada concepto tiene en el diccionario mental del experto, múltiples referencias cruzadas”. Esta mayor densidad de conexiones entre conceptos, significa a su vez que la probabilidad de que cualquier concepto dado evoque otros conceptos relacionados es mayor”. El conocimiento del experto se caracteriza por una mayor reflexión y autoconocimiento. El científico no busca tanto, o al menos sólo, predecir la “conducta” de los objetos al perfeccionar sus conocimientos.

Tal como lo señala Claxton (1984) las teorías personales deben ser útiles; las teorías científicas deben ser ciertas. Lo que pretende un conocimiento personal es conseguir éxito en su aplicación en una situación concreta. Utilizando una distinción Piagetiana central a su teoría funcional de la equilibración (Piaget, 1974; Mortimer, 2000), las teorías implícitas (Gomez y Guerra, 2012; Pozo, 2013) buscan el éxito mientras que las teorías científicas intentan comprender. Según Furnhan (1988) y Pérez (1989), las teorías científicas son deductivas y falsacionistas mientras que las teorías personales son inductivas y verificacionistas.

Dado el distinto objeto de las teorías personales y las teorías científicas el papel de los datos contrarios a ellas es muy diferente en uno u otro caso. La aparición de un solo dato contrario muestra la falsedad de una teoría científica, pero reduce muy poco la utilidad de una teoría personal que se ha aplicado con eficiencia en muchas ocasiones anteriores. Como ha mostrado Carretero (1984) los adolescentes que encuentran un dato contrario a sus teorías recurren a veces a la idea popular según la cual “la excepción confirma la regla” manteniendo intacta su teoría a pesar de los datos contrarios. En cambio, los científicos, aun cuando conserven sus teorías a pesar de acumular datos contrarios, deben recurrir al “cinturón protector” incorporando ideas a su heurística positiva para dar cuenta de los datos contrarios (Lakatos, 1978).

Otra característica de las teorías implícitas de los alumnos, es la tendencia del pensamiento causal cotidiano, consistente en centrarse en el cambio más que en los estados, es decir, los alumnos se centran en lo que se transforma pero no en lo que se conserva. Sin embargo la mayor parte de los conceptos científicos implican una conservación. Mientras esta conservación es directamente observable, como en la famosa tarea de la plastilina (Pozo, Gómez y Sanz, 1993) es asequible para los niños del periodo operacional concreto, pero cuando se trata de una conservación no observable, solo puede alcanzarse por vía conceptual, es decir por la toma de conciencia de las relaciones entre conceptos. Así, los alumnos tienen dificultades considerables para fijarse en la conservación de la masa tras una reacción química o tras una disolución (Pozo y col., 1992) en la conservación de la energía o en la conservación de la cantidad de movimiento o inercia (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Pozo, 1987). Esta dificultad pudiera estar conectada según Pozo (1992 y col.), mediante el esquema de causalidad lineal señalado anteriormente. La idea de que los efectos se producen en un solo sentido implica centrarse en el cambio (acción), olvidando los efectos recíprocos (reacción), que aseguran la conservación (Inhelder y Piaget, 1955). Se trata entonces, de la llamada reversibilidad Piagetiana, que en este caso se aplicaría a la comprensión de sistemas de equilibrio (conservación) más allá de cambios aparentes (transformación).

Comprender la naturaleza como un sistema de equilibrio en diversos parámetros, es quizás uno de los logros más sustantivos del conocimiento científico. Sin embargo, a los inexpertos (adolescentes y adultos), les resulta muy difícil de entender el equilibrio, ya sea mecánico, físico o químico, por no decir otro tipo de sistemas en equilibrio, de naturaleza sociopolítica (el equilibrio entre los poderes en un estado de derecho), histórica (La “Guerra fría”), económico (la balanza de pagos) o psicológico (desde la equilibración piagetiana al sistema hidráulico de Freud).

La noción de equilibrio, es tan general que podría servir de esquema integrador para la mayor parte de los conocimientos científicos, si bien ello no implica que todos los tipos de equilibrios a los que ya se ha hecho referencia, sean similares.

El estudio de las ideas previas reviste importancia no sólo a la hora de desarrollar e implementar estrategias de aprendizaje para buscar aprendizaje significativo, sino también como parte del dominio ontogenético de Vygotski (Vygotski, 1962; 1981) a tomar en cuenta en la elaboración de instrumentos para documentar el perfil conceptual del equilibrio químico (Mortimer, 2000).

Aprendizaje de la Química y los errores conceptuales.

En los últimos años se ha propuesto el modelo de enseñanza y aprendizaje en el cual los alumnos construyen sus conocimientos a partir de aquello que ya saben. Según esta idea, los estudiantes cuentan con un conjunto de ideas y conocimientos que activan en una determinada situación de aprendizaje, para tratar de conectar el nuevo concepto y relacionarlo con su estructura previa de conocimientos. Es por ello, que ha cobrado importancia la investigación de la didáctica de las ciencias, el estudio de las ideas previas de los estudiantes en distintas materias que conforman el currículo.

Una de estas materias o asignatura es la química, donde se dispone desde hace un tiempo de nuevas aproximaciones de las ideas que los/as estudiantes mantienen y a las dificultades que presentan estos en el aprendizaje de conceptos en esta ciencia (Bertelle; Rocha y Domínguez, 2014; Driver y col, 1985; Hierrezue-

lo y Montero, 1991; Pozo, Gómez, Limón y Sanz,1991). En este sentido, Gómez (1996) señala que las ideas en química y las dificultades de aprendizaje en esta ciencia, vienen dadas por la interacción de dos factores: la forma como los alumnos aprenden y se enfrentan a nuevos conceptos, por lo tanto, se presentan algunas similitudes con las ideas que aparecen en otras materias, y las características propias de esta disciplina.

Al analizar el conocimiento de la Química, se observa que aparecen sistemas que aparentemente no evolucionan en el tiempo, en los que, sin embargo, se explican que tienen largos cambios que compiten en sentidos opuestos, lo que se opone a la causalidad simple en un solo sentido con que se suele interpretar nuestra vida cotidiana, lo que deviene en una dificultad en la comprensión.

Otra característica importante de la química, es el uso de lenguaje altamente simbólico y de modelos analógicos que resultan muy útiles para la comprensión y aprendizaje de los conceptos en esta ciencia, pero que a la vez en determinadas ocasiones conducen a ideas erróneas y difíciles de erradicar. Cabe destacar que en el proceso llamado transposición didáctica (Martín y Rivero, 2001; Solarte, 2006), se genera todo un mecanismo sobre el saber a enseñar, es decir, sobre ese conocimiento científico que necesita ser transformado en conocimiento enseñable con la utilización de modelos, a través de procesos de planificación y evaluación, que deben actuar en consonancia con las ideas previas o alternativas de los aprendices.

En cuanto a las ideas de los aprendices se puede decir que en ocasiones son espontaneas y que resultan de la interacción de los estudiantes con el mundo cotidiano. Sin embargo debido al alto nivel de abstracción de muchos de los conceptos que se estudian en el nivel medio de enseñanza, la mayoría de las ideas alternativas en el estudiantado son inducidas y adquiridas a través de los medios de comunicación o de la enseñanza o analogías, fundamentalmente generadas en la enseñanza (Pozo y col 1.991).

El estudio de las diversas ideas con que cuentan los estudiantes para construir los conceptos en química, están muy relacionadas entre sí, formando verdaderas teorías “informales” sobre el comportamiento de la materia. Según algunos

autores (Pozo y col, 1991; Gómez y col, 1992) la mayor parte de estas teorías, pueden agruparse en tres grandes núcleos: naturaleza corpuscular de la materia, conservación de propiedades no observables y relaciones cuantitativas.

Naturaleza corpuscular de la materia en la enseñanza.

La comprensión de la naturaleza corpuscular de la materia es básica y constituye prácticamente un requisito, para comprender e interpretar su estructura y propiedades y para cualquier explicación causal de los cambios que experimenta. Sin embargo diversos trabajos (Stavy, 1988; Llorens, 1991; Pozo y col, 1991 y 1993) han demostrado el poco uso que los estudiantes le dan a este modelo en sus explicaciones y cuando lo utilizan lo hacen de forma errónea. También existen estudiantes que aceptan el modelo corpuscular de la materia (Iglesias y col, 1990; Chastrette y Franco, 1991) y aumentan de forma apreciable las respuestas en términos microscópicos cuando se les da a elegir entre respuestas microscópicas y macroscópicas (Pozo y col 1993). Todo ello lleva a pensar que en muchos casos, la ausencia de respuestas microscópicas espontáneas no es debida a la incompreensión de los modelos corpusculares, sino más bien a la coexistencia de las interpretaciones microscópicas en términos de las partículas constituyentes de la materia y macroscópicas en términos de parámetros físicos observables, en un mismo sujeto en las que recurre en función de la demanda de la tarea (Pozo y col. 1993).

Es de aclarar que para poder interpretar las propiedades de la materia no basta con aceptar el modelo corpuscular de la materia, sino que es necesario que los estudiantes lo utilicen en forma adecuada, ya que en oportunidades le atribuyen propiedades erróneas a las partículas, utilizando lo que llama Gómez (1996) "ideas mixtas" entre sus propias concepciones y las científicas. Existe una tendencia entre los estudiantes a interpretar el mundo microscópico en términos ma-

microscópicos, atribuyéndole a las partículas propiedades similares a las de sus características observables (cuando se extrae el aire de un frasco, las partículas que quedan se concentran en el fondo; si un gas aumenta de volumen o cambia de color, también lo hacen sus partículas, los átomos de cobre tienen color rojo (Gómez, 1996). Los alumnos en la mayoría de las veces interpretan la materia de forma continua y estática, para ellos las partículas son pequeños trozos de materia separados por más materia, lo que les lleva a rechazar o al menos a ignorar la idea del vacío cuando afirman que entre las partículas siempre hay algo (agua, aire, gas, entre otros).

En este caso la estrategia didáctica empleada por el docente debe involucrar el uso de un modelaje del mundo atómico para tratar de aumentar la visión atómica y subatómica que tienen los aprendices de los sistemas materiales y que puedan llegar a comprender las condiciones que se deben dar, para que ocurra una reacción química, cuestión de suma importancia para poder construir la noción científica de equilibrio químico.

Conservación de la materia en la enseñanza

El conocimiento científico está relacionado en gran parte con las conservaciones, pero en química la conservación va más allá de las apariencias y de lo observable.

Para estudiar los cambios físicos y químicos de la materia es necesario tomar en cuenta dos de sus propiedades: la cantidad (masa) y la cualidad (la sustancia). En los cambios físicos (disoluciones y cambios de estado) se conservan las dos propiedades, mientras que en los cambios químicos (reacciones) cambia la identidad de la sustancia y la masa puede conservarse o no; en función de que la reacción puede ocurrir en sistema abierto o cerrado. Son dos propiedades que dependen de los cambios en la estructura microscópica de la materia. Para el alumno la conservación de la materia viene afectada por la percepción que tiene del problema, interpreta por ejemplo: al disolver azúcar en agua puede haber pérdida de masa; el paso de líquido a gas implica que la sustancia se haga más ligera o incluso, que desaparezca; en la combustión de un cigarrillo, la desaparición de un sólido para formar un gas implica que hay pérdida de masa; en la oxi-

dación de una esponja de hierro, el óxido sigue siendo hierro que solo cambia de aspecto (Driver y col., 1989; Llorens, 1991).

En todos los casos los alumnos basan sus respuestas en los aspectos observables de los estados inicial y final de la materia, centrándose en explicar aquello que ha cambiado y no lo que permanece (Pozo y col, 1991).

La aplicación cuantitativa de las leyes en química constituye una parte importante de los contenidos en la enseñanza y aprendizaje, donde esta asignatura forma parte del currículo. Estas leyes no representan grandes dificultades matemáticas en su aplicación, con excepciones, como es el caso del cálculo de pH, que en ciertos cursos de química universitaria el alumno tenga que hacer una serie de suposiciones para eliminar algunos términos en ecuaciones que representan a algunos sistemas químicos. Sin embargo, existen algunas otras dificultades en la aplicación de cálculos proporcionales con la presencia de una visión daltoniana del átomo, específicamente relacionadas con los cálculos estequiométricos. Estas dificultades se pueden dividir en tres tipos: dificultades con el cálculo proporcional, dificultades con la estrategia de solución de problemas y dificultades conceptuales. (Pozo, 1991; y Gómez Crespo, 1996).

En cuanto a las dificultades referidas al cálculo proporcional estas se centran en la utilización de reglas multiplicativas reconociendo la igualdad, y que un cambio de un miembro de una proporción se puede compensar con un cambio en otro miembro, sin que varíe la igualdad. Sin embargo la tendencia en los estudiantes es aplicar reglas cualitativas o cuantitativas parcialmente correctas, que le permite obtener soluciones correctas a problemas sencillos. La más simple regla cualitativa consiste en ignorar algunos datos del problema, comparando entre magnitudes absolutas, por ejemplo, en disoluciones con distinto volumen comparar entre sí solo las cantidades de soluto. La regla aditiva que consiste en restar numerador y denominador en ambas razones y comparar los resultados, por ejemplo, cuando se compara concentraciones o la regla de correspondencia que consiste en establecer una relación de proporción en una razón y aplicársela a la otra, por ejemplo: si se compara dos disoluciones A (3 moles de soluto en 5 L de agua) y B (2 moles de soluto en 4 L de agua) implicaría una relación 1:2 de la se-

gunda con la relación 3:5 de la primera. El alumno diría que la primera es más concentrada porque para ser iguales tendría que ser $3/6$ y de este modo hay 1 L menos de agua. Esta es una estrategia que puede conducir a resultados correctos e incorrectos.

La dificultad relacionada con los cálculos proporcionales, también puede ser afectada por otro tipo de variables, tal como la estructura propia de la tarea (magnitud de los números a utilizar, que sean números enteros o decimales, si la proporcional es inversa o directa) (Gómez, 1996).

Pero la mayor dificultad de los cálculos en química no está solo en el cálculo proporcional que, en ocasiones, se ve simplificado por un uso algorítmico mediante el empleo de fórmulas ad hoc para cada "modelo de problema". La mayor dificultad viene determinada por el número de proporciones diferentes y sucesivas que es necesario realizar, para resolver el problema (Gailiunas, 1987) y por la necesidad de encontrar una estrategia de resolución adecuada a cada caso (Pozo y Gómez 1994). Así la dificultad del problema aumenta con el número de datos que es necesario manejar, con el número de pasos necesarios para su solución y con la ramificación del proceso (número de variables que hay que manejar a la vez e incógnitas que es necesario calcular para resolver sucesivos pasos del problema). También se tiene que tomar en cuenta las condiciones experimentales propuestas en los enunciados de los problemas que en muchas ocasiones son obviadas por los estudiantes, al dar soluciones erróneas, por ejemplo cuando se da el dato en el enunciado de que el experimento se lleva a cabo a una determinada temperatura y no hay evidencias de que esta cambie, tratándose de un proceso isotónico, y por lo tanto toda aquella variable que dependa de un cambio de temperatura sería cero, lo que repercute en forma indudable en dar con una solución correcta.

En cuanto a las dificultades relacionadas con conceptos químicos en los cálculos químicos, se puede decir, que están relacionadas por ejemplo con el concepto de mol, unidad de cantidad de sustancia en el sistema internacional. Es un concepto complejo ya que se relaciona con el mundo micro y cuando se aplica al cálculo del número de partículas, hay que añadir otra dificultad como lo es el número de Avogadro el cual va más allá de la imaginación de los estudiantes.

También cuando se trabaja con disoluciones aparecen dificultades debidas a que la concentración depende de dos variables, cantidad de soluto y la cantidad de disolvente, por ejemplo, algunos alumnos establecen una proporción directa entre la concentración y el volumen de disolución o también cuando hay una dilución sucesiva existen dificultades con el cálculo de la concentración de la disolución final.

Hasta ahora se ha hecho mención a las principales dificultades y errores conceptuales que presentan los estudiantes en estos núcleos de contenidos. También existen otras dificultades relacionadas con otros conceptos importantes en la química, como por ejemplo el equilibrio químico, el cual guarda su grado de complejidad, por las características propias del concepto mismo ya que, tiene relación estrecha con otros conceptos importantes en química y biología tales como: el concepto de mol, pH, ácidos y bases, complejometría, solubilidad, energía libre, soluciones buffer en sistemas biológicos (líquido intracelular y extracelular por ejemplo), velocidad de reacción y aplicación del principio de Le Chatelier entre otros (Pozo y col 1991; Quílez y Sanjosé 1995, Quílez y Solaz, 1996).

Ideas y dificultades conceptuales sobre el equilibrio químico.

Las dificultades conceptuales en el aprendizaje del concepto de equilibrio químico se han presentado de forma común y reiterada en distintos países del mundo en distintos niveles educativos. Algunos trabajos hechos en este sentido, tales como los de Hacking y Garnett (1985); Gorodetsky y Gussarsky (1986) y Quílez y Solaz (1995a; b) han descrito este problema, cuando concluyen que los alumnos tienen dificultades para reconocer e interpretar las características más importantes del Equilibrio Químico, como son el dinamismo y la composición constante y perciben que el sistema ha alcanzado el equilibrio como si estuviese formado por dos recipientes separados (Rocha, 2007).

Tal como lo plantea Quílez (1997b) el origen de estas dificultades podría situarse dentro de los siguientes señalamientos:

1. Dificultades de comprensión del lenguaje utilizado
2. La alta demanda conceptual de los conceptos relacionados

3. Las analogías empleadas en su didáctica
4. Dificultades de tipo estequiométrico
5. Deficiente capacidad en la resolución de problemas
6. Planteamientos didácticos incorrectos
7. Utilización de reglas de tipo memorístico
8. Empleo de un razonamiento causal lineal y secuencial (Furió y Furió, 2000)

Raviolo y Martínez (2003) en su trabajo sobre concepciones alternativas de los estudiantes sobre el equilibrio químico, hace una categorización de estas concepciones de la siguiente manera: a) conceptos previos necesarios para el estudio del equilibrio químico; b) características de un sistema en equilibrio químico c) lenguaje, simbolismo empleado y constante de un equilibrio; d) efecto del cambio de variables sobre el sistema en equilibrio; e) velocidad de reacción; f) catalizadores; g) energía y h) equilibrios heterogéneos.

Esta categorización que hacen Raviolo y Martínez (2003), reúne en forma general las ideas de las dificultades más estudiadas hasta el momento, que se han presentado en estudiantes de distintos niveles educativos respondiendo a parámetros tales como: el tipo de muestra estudiada, la metodología utilizada para indagar la concepciones alternativas, aspectos conceptuales del equilibrio químico, concepciones y dificultades detectadas y su clasificación y sugerencias didácticas a partir de los resultados obtenidos.

En general, se observa que todas las concepciones alternativas fueron realizadas en distintos contextos y las más comunes encontradas fueron: a) la confusión entre cantidad y concentración, b) la imagen estática y c) la imagen compartimentada (reactivos y productos por separado) del equilibrio.

El hecho de que estos autores (Raviolo y Martínez 2003) llegan a establecer esta categorización, confirma una de las características de las concepciones alternativas que son comunes a estudiantes de distintos medios, edades, géneros e incluso culturas. Esta universalidad se observa en un concepto que se construye en el ámbito académico y no en el contexto cotidiano (Moncaeleano, 2008).

Otras de las dificultades los estudiantes, tienen que ver con sus ideas previas derivadas a partir de la representación de un sistema en equilibrio, al confun-

dir extensión y velocidad de reacción y representación de las reacciones químicas mediante ecuaciones químicas (Anderson, 1986; Nakhleh, 1992), concepción del sistema en equilibrio como dos compartimientos separados, quizás influenciada por la representación de la ecuación química y la aplicación inadecuada del principio de Le Chatelier (Rocha y col 2000).

Wheeler y Kass (1978) trabajaron con estudiantes de 17 y 18 años y detectaron la confusión entre velocidad-extensión en esta muestra. Johnstone, McDonald y Webb (1977) llegan a conclusiones similares en investigaciones donde las dos flechas son de diferente longitud:



Un porcentaje de estudiantes interpreta que la reacción con la flecha más larga ocurre con mayor velocidad que la otra.

Hackling y Gamett (1985) opinan que los aprendices, pueden atribuir los cambios en la velocidad de reacción, a la concepción de velocidad en que la reacción directa crece y la otra decrece.

Camacho y Good (1989) concluyeron que un grupo de expertos e inexpertos confundieron la extensión o completitud de una reacción (concepto termodinámico) con la velocidad de una reacción al alcanzar el equilibrio (concepto cinético).

Johnstone, McDonald y Webb (1977) pudieron detectar que los aprendices conciben el equilibrio químico como si se trata de dos recipientes diferentes (Rocha, 2007).

Tal como lo afirman Rocha, Rodeja y Domínguez (2000) la idea de compartimentación del equilibrio químico, refuerza una visión del equilibrio que consiste en la producción de dos reacciones, directa e inversa, en forma pendular (interpretación pendular del equilibrio), dos estados entre los que el sistema va y viene como si fuera una balanza.

En el aula, el profesor señala las partes del equilibrio químico en la reacción de detención del amoníaco, empleando frases del tipo “la reacción se desplaza hacia la derecha” (Raviolo, 2006) y los alumnos imaginan situaciones que difieren

totalmente de las ideas a las que apunta la enseñanza. Se imaginan por ejemplo, una balanza estequiométrica en la que se logra el equilibrio cuando en uno de los platillos hay un mol de nitrógeno y tres de oxígeno y en el otro platillo, hay dos moles de amoníaco. Este modelo es producto de la enseñanza activa, producto de la falta de seguimiento continuo de las ideas de los estudiantes (Raviolo, 2006).

En cuanto a la confusión masa-concentración, Quílez (1998) en un estudio hecho a una muestra de estudiantes universitarios en carreras de ciencias y un grupo de licenciados en Química sobre errores relacionados con la incorrecta aplicación del principio de Le Chatelier, encontró dificultades en las respuestas que dio la muestra las cuales se relacionaron con la confusión masa-concentración.

Los errores conceptuales relacionados con la aplicación del principio de Le Chatelier, también han sido una de las dificultades más estudiadas en un número amplio de investigaciones (Wheeler y Kass, 1978; Gorodetsky y Gussarsky, 1986; Banerjee, 1991; Quílez y Soláz, 1995a; Quílez y Sanjosé, 1995, entre otros) es la relacionada con la utilización del principio de Le Chatelier como regla infalible y aplicable a especies en equilibrio en cualquier condición que este se encuentre. Quílez, (1998), Quílez (1997a) entran en la discusión sobre las dificultades en la formulación del principio de Le Chatelier y encuentran en los textos de química dos tipos de enunciados. Los del primer tipo son los que terminan diciendo que el sistema reacciona oponiéndose o anulando parcialmente la modificación introducida. Los enunciados del segundo tipo son aquellos que aseguran que el sistema reaccionará oponiéndose o aumentando parcialmente al efecto del cambio introducido (Moncaleano, 2008).

En el caso del equilibrio químico, los estudiantes aplican mecánicamente razonamientos basados en el principio de Le Chatelier, por ejemplo, cuando se agrega un sólido (Rocha y Col, 2000) a un sistema heterogéneo en equilibrio lo cual no causa ningún cambio en las concentraciones de las especies.

El aspecto relacionado a la presencia de un sólido en el equilibrio químico, representa un obstáculo a vencer por parte del estudiante que tiene que relacionar las características señaladas de un sólido en una reacción en equilibrio, con res-

pecto a sacar conclusiones referidas al aumento o disminución de concentraciones tanto de especies sólidas como gaseosas cuando el equilibrio es perturbado.

Afirma Quílez (2006), que estos estudiantes no son conscientes que están utilizando una regla que viola las leyes de los gases. Se ha admitido que el resultado final: el desplazamiento hacia la izquierda (menor número de moles) es consecuencia de la oposición que realiza el sistema a un incremento total de moles.

Es de hacer notar que algunas ideas generadas en la historia del concepto de equilibrio químico, se encuentran en el pensamiento de los estudiantes e incluso en personas que tienen una cierta formación en Química, de modo que las ideas intuitivas, o ideas previas, sobre una noción compartimentada y estática del equilibrio químico, forman parte de los obstáculos que debe vencer el estudiante en la búsqueda del cambio conceptual o de evolucionar conceptualmente hacia zonas más racionales y científicas que le permitan sostener y valorar situaciones explicativas, para lo que se necesita un pensamiento abstracto y crítico de sus distintas visiones del concepto mismo.

Por otra parte, las ideas de los alumnos se generan en la vida cotidiana mientras que las de los científicos parten del conocimiento científico vigente. Sobre el equilibrio químico, Van Driel, De Vos y Verloop (1998) hallaron tres similitudes entre el razonamiento de los estudiantes durante la enseñanza del tema y el de los científicos del siglo XIX, entre ellos Williamson, Clausius y Pfaunder:

1. El reconocimiento de que la existencia de reacciones químicas que no se completan, entra en conflicto con la concepción existente acerca de las reacciones químicas.

2. La aceptación de la necesidad de revisar la idea de que moléculas de una misma especie son idénticas (que tienen el mismo estado de movimiento).

3. La suposición de que dos reacciones opuestas continúan ocurriendo con el fin de explicar la conversión incompleta.

Tal como señala Raviolo (2007), existen otras concepciones que sostienen los alumnos, y que resultan similares a las sostenidas en la evolución histórica del concepto, son:

- La consideración del equilibrio químico como estático puede derivarse de una concepción de equilibrio como equilibrio mecánico, logrado por una igualación de fuerzas, por ejemplo en Berthollet (1801) y Guldberg y Waage (en 1864). La concepción de que el equilibrio se logra cuando la cantidad de reactivos es igual a la cantidad de productos puede estar asociada a esta imagen.

- La idea pendular del equilibrio; que primero se completa la reacción directa, luego la inversa y así sucesivamente; ésta se apoyaría también en esta analogía mecánica del equilibrio mecánico que oscila alrededor de un estado de equilibrio (Bensaude y Stengers, 1997).

- La confusión cantidad-concentración (Furió y Ortiz, 1983), por ejemplo Berthollet resaltó la importancia de la cantidad pero no de la concentración, cuando concluye que las reacciones químicas dependen no sólo de la naturaleza de las sustancias sino también de las cantidades de los reactivos.

- La perturbación del equilibrio químico por ejemplo, cuando se le agrega más de algún reactivo que intervenga en el equilibrio, o la pérdida de calor en una reacción endotérmica, algunos estudiantes consideran al incremento en la velocidad de la reacción directa como el cambio impuesto, y que el sistema contrarresta ese cambio incrementando la velocidad de reacción inversa. Níaz (1995) considera que los estudiantes interpretan a la reacción directa e inversa como análogo químico de la tercera ley de Newton. En ésta la fuerza es una propiedad innata o adquirida de los objetos, que no proviene de la interacción de dos objetos. Esto conduce a una versión algorítmica de la tercera ley como “para cada acción existe una reacción igual y opuesta” (Raviolo, 2007).

- La idea de los estudiantes en la que un catalizador en un sistema que se encuentra en equilibrio químico, produce un incremento en los productos de la reacción. El catalizador, como un factor que influye en las cantidades presentes en el equilibrio químico, fue una idea invocada a comienzos del siglo XIX; el trabajo de Le Chatelier contribuyó a descartarla (Paty, 1985).

En cuanto a las diferencias, se pueden señalar que el desarrollo de las ideas en los estudiantes es precisamente inconsciente; en cambio, el proceso de construcción de teorías por los científicos es consciente. Otra diferencia es que el

desarrollo de las ideas de los estudiantes es individual, mientras que las ideas científicas, deben ser desarrolladas en cooperación y confrontación con las visiones de otros científicos que trabajan en el mismo campo.

Es importante señalar que si bien algunas dificultades y concepciones presentes en algún momento histórico del desarrollo científico están presentes en estudiantes en la actualidad, sería inadecuado afirmar que existe un paralelismo general en la construcción del concepto de equilibrio por parte de los estudiantes y el proceso seguido en la evolución histórica del concepto Astolfi (1994), dado que los complejos modelos explicativos del equilibrio químico, llevaron muchos otros de construcción individual que se lleva a cabo en un número reducido de clases.

El estudio de los errores y dificultades presentadas en el equilibrio químico, cumplen un papel preponderante dentro del análisis hecho, ya que todas estas ideas se tomaron en cuenta como ya se dijo anteriormente como base del dominio ontogenético que plantea Vygotski (Vygotski, 1962; 1981) a tomar en cuenta en la elaboración de instrumentos para documentar el perfil conceptual del equilibrio químico (Mortimer, 2000).

Evolución en las visiones sobre cambio conceptual

Hoy en día es reconocido y aceptado el papel que desempeña el conocimiento previo de los estudiantes, y también el descubrimiento de que hay una considerable diversidad en ese conocimiento, que contradice a menudo opiniones generalmente aceptadas y gran parte de ellos parecen no responder a la instrucción que reciben (Hewson y Beeth, 1.995).

Todo esto proporciona una base para considerar el aprendizaje, no como una simple acumulación de información, sino como un proceso de cambio conceptual. Esto plantea cuestiones como: el significado del aprendizaje como cambio conceptual y lo que una perspectiva de cambio conceptual del aprendizaje dice acerca de la enseñanza.

Respecto a la primera cuestión, se tiene un modelo de aprendizaje como cambio conceptual propuesto en primer lugar por Posner, Strike, Hewson y Gertzog (1982) y discutido en varios trabajos (Hewson 1981, 1982; Hewson y Thorley

1989; Strike y Posner, 1992). En este caso los conceptos centrales son el status de las ideas de las personas que las mantiene, lo cual es una indicación de su inteligibilidad, y de su plausibilidad y de su utilidad. La ecología conceptual (Bello, 2004; Mortimer, 2000), incluye otros conocimientos que tiene la propia persona y que interactúan con esas ideas en el proceso de determinación y de cambio de su status.

El cambio conceptual comienza a estudiarse desde las ideas previas o concepciones alternativas que tienen los estudiantes, donde investigaciones en este sentido, han fortalecido una visión constructivista de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias (Mattheus, 1992). A pesar de la gran variedad de enfoques y visiones que existen sobre el cambio conceptual (Mortimer, 2000), hay por lo menos dos características principales que parecen comunes:

1. El aprendizaje se produce a través de la implicación activa del aprendiz en la construcción del conocimiento.
2. Las ideas previas de los estudiantes desempeñan un papel fundamental en el proceso de aprendizaje ya que éste sólo es posible a partir de lo que el alumno ya conoce. Precisamente el modelo del cambio conceptual estudia las concepciones alternativas de los estudiantes y la posible transformación de estas en conceptos científicos.

Al referirse al status de las ideas previas de los estudiantes, existen condiciones que se necesitan para que las nuevas ideas en las que se incluyen las científicas, puedan acomodarse en la estructura cognitiva del individuo para generar así una transformación de ésta.

En el trabajo de 1982, Posner, Strike, Henson y Gertzog definen varios tipos de conceptos y creencias que, como parte de la ecología conceptual, son muy importantes en el proceso de acomodación de una nueva idea: anomalías, analogías, ideas explicativas, visión general sobre el carácter del conocimiento, visiones metafísicas, sobre las ciencias como un todo y sobre todo conceptos científicos en particular, conocimientos en otras áreas y conceptos en competición.

Estos aspectos de la ecología conceptual no siempre están explícitos y a veces son inconscientes. La construcción del conocimiento está influenciada grandemente por la presencia de estos conceptos, visiones y creencias, puesto que “el sistema cognitivo es una totalidad que se conserva en las asimilaciones” (Piaget, 1978, p. 37). De tal manera, que cualquier idea nueva que es acomodada puede potencialmente modificar toda la estructura de concepciones. Sin embargo, tal como lo afirmó Piaget (1978, p. 37) “el todo es más estable que sus componentes” por tanto la ecología conceptual tiene fuerte poder de redefinir el concepto o la idea nueva en función de creencias y visiones anteriores.

Para que ocurra el cambio conceptual, Posner y Col (1982); Hewson (1981) y Moreira y Greca (2003), proponen cuatro condiciones básicas: a) la insatisfacción con los conceptos existentes; b) la nueva concepción debe ser inteligible es decir entendible; c) que la nueva concepción sea plausible es decir, que pueda parecer tener la capacidad de resolver los problemas generados por sus predecesores y d) que la nueva concepción sea fructífera es decir, que el nuevo concepto debe tener el potencial a ser extendido a otras áreas. En este sentido, Bello (2004) señala las condiciones para el cambio conceptual de la siguiente manera: a) es preciso que el estudiante sienta insatisfacción con sus concepciones existentes; b) la nueva concepción debe ser mínimamente entendida (clara); y c) la nueva concepción debe ser fructífera (fecunda, amplia, es decir aplicable a un gran número de fenómenos creados por su predecesora y explicar nuevos conocimientos y experiencias).

En trabajo realizado por Hewson y Thorley (1989) señalan que el aspecto central del cambio conceptual, es el cambio en el estatus de las concepciones en conflicto durante el proceso de acomodación. El estatus de una concepción, para un determinado individuo, es definido como la extensión por la cual la concepción incorpora las tres condiciones (ser intangible, plausible y fructífera). Bajo estos términos, el modelo de cambio conceptual está relacionado con la disminución o el aumento del estatus de las concepciones (Hewson y Thorley, 1989).

La visión de Chi y Roscoe, (2003) sobre el cambio conceptual difiere de la Strike y Posner,(1992), pues los primeros investigadores distinguen entre las pre-

concepciones y las concepciones alternativas o ideas previas. Para Chi y Roscoe op. cit., la reparación de las preconcepciones es solamente una reorganización conceptual, mientras que el cambio conceptual propiamente dicho (Strike y Posner op. cit) está relacionado con las ideas previas. Para Chi y Roscoe op. cit., el cambio conceptual es el proceso de reparar ideas previas, a través de reasignar la categorización de un concepto, pasándolo de una categoría ontológica a otra. En cambio, al proceso reparar preconcepciones le llama reorganización conceptual. Chi op. cit. también incorpora el concepto de inconmensurabilidad, proveniente de Kuhn (1962) y que se refiere a diferencias irresolubles en los conceptos, creencias y explicaciones de teorías. Los conceptos son inconmensurables si se pueden definir en el ámbito de tres procesos:

- 1) Al reemplazo: un concepto inicial es sustituido por uno alternativo, fundamentalmente diferente;
- 2) Diferenciación: otro proceso de reemplazo, divide el concepto inicial en dos o más nuevos conceptos, inconmensurables con el inicial o entre sí, y
- 3) Coalescencia: dos o más conceptos son colapsados dentro de un concepto nuevo, reemplazando al original.

Los tres procesos mencionados anteriormente, constituyen la base para pasar de una categoría a otra. Las principales dificultades para lograr el cambio conceptual son:

- 1) El educando no es consciente de la necesidad de cambiar de categoría. Por ejemplo, cuando el calor se considera una sustancia y, por ende, se ubica en la categoría materia, en vez de asumirlo como parte de la categoría de proceso.
- 2) Falta de categorías alternativas, es decir, al estudiante le falta construir una categoría. Por ejemplo, la relacionada al aspecto simbólico de la Química, los estudiantes no distinguen las diferencias cualitativas entre Na y Na^+ , o entre Cr^{3+} y CrO_4^- . Existen procesos que intervienen en el cambio conceptual llamados por Chi, Slota y De Leew, (1994) procesos cognitivos y que se caracterizan por la implicación del nivel macroscópico que surge como manifestación de los constituyentes del nivel microscópico y cuyas características (nivel macroscópico) no corresponden a la suma de los componentes del nivel microscópico.

Existe entonces, una gran dificultad para entender profundamente las diferencias entre lo macroscópico y lo microscópico. En estos procesos emergentes los estudiantes carecen de definición y esto impide la recategorización y la reparación de las concepciones alternativas relacionadas. Se ha encontrado numerosas ideas previas de estudiantes de distintos niveles educativos (Flores, 2002) que manifiestan estas dificultades: los átomos de cobre son rojos, las moléculas de agua son como gotas.

Para Vosniadou (Bello, 2004) las concepciones alternativas son los instintos de los estudiantes para interpretar la información científica desde la perspectiva de una teoría marco que contiene información contradictoria para el punto de vista científico. Es pues responsabilidad de los educadores conocer el modelo que el estudiante tiene antes de que la escuela intervenga para evitar que al tratar de reconciliarlo o cambiarlo con el modelo científico, el estudiante genere concepciones alternativas.

La visión de Carey (1991; 1992), está influenciada por las ideas de Khun, sobre la evolución conceptual en ciencias, en el marco de una ecología conceptual, y reconoce que se pueden dar dos tipos de cambio en la red conceptual del estudiante: el débil y el fuerte. El débil corresponde a modificaciones pequeñas en los conceptos, que no implican cambios profundos en su red conceptual. Los hace equivalentes a los pequeños cambios que se han dado en la historia de las ciencias. A diferencia de lo que ocurre cuando el estudiante hace modificaciones profundas en sus concepciones, es decir un cambio fuerte, que correspondería en el conocimiento científico a una revolución y en el estudiante al cambio conceptual.

Hasta ahora se han descrito visiones que conciben el cambio conceptual que ocurre en el individualismo, equiparables a lo ocurrido en la comunidad científica a lo largo de la historia de la ciencia.

En este sentido, Caravita y Halldén (1994) consideran que es un error comparar ambos cambios ya que existen diferencias fundamentales entre ellos, señalando que en la comunidad científica son los propios investigadores quienes escogen el problema específico que intentarán resolver y cuentan con un marco amplio de conocimientos, al conocer otras investigaciones realizadas al respecto, además

de los datos obtenidos de sus propias investigaciones. En cambio, el estudiante no cuenta con ese acervo, no relaciona el problema por sí mismo, sabe que el profesor puede identificar cuándo él se ha equivocado de perspectiva o de procedimiento y puede sentir que está jugando un juego cuyas reglas no son claras (Bello, 2004). Di Sessa y Sherin (1998) señalan que la observación tiene bases teóricas y empíricas y que “ver” puede constituir la función nuclear de las coordinaciones de clase (los conceptos). “Ver” es un logro del aprendizaje y dependerá sólo parcialmente de los sentidos y en gran medida de la teoría que sustente el observador.

Por todo lo anteriormente descrito, es que Mortimer (1995, 2000), plantea que el cambio conceptual es un proceso complejo, de larga duración, no lineal y como meta de la educación difícil de lograr. Si el estudiante tiene acceso a un amplio menú de informaciones y experiencias de aprendizaje, donde algunas son proporcionadas por el docente, lo que puede lograrse es un cambio en el perfil conceptual, que puede conducir a un cambio conceptual.

El perfil conceptual

La noción de perfil conceptual fue propuesta por Mortimer (1995; 2000) a partir del perfil epistemológico de Bachelard (2009). En la propuesta de perfil epistemológico, Bachelard expone que para cualquier individuo, los conceptos se encuentran dispersos en diferentes puntos de vista filosóficos, dependiendo de su estado de desarrollo y enfatiza el pluralismo de la cultura filosófica. El perfil conceptual fue presentado como un modelo para describir la evolución de las ideas, tanto en el espacio social del aula como en el individual, como consecuencia del proceso de enseñanza.

El perfil conceptual al igual que el perfil epistemológico, está constituido por zonas y la definición de éstas se hace no sólo por compromisos epistemológicos, sino también a partir de aspectos ontológicos del concepto, al considerar las ideas que constituyen cada zona del perfil como apropiadas para un contexto específico.

La noción de perfil conceptual presupone que un individuo puede tener diferentes visiones del mismo concepto, al considerar que existen diferentes formas de ver y diferentes puntos de vista sobre la realidad y que estos se asocian a con-

textos específicos donde resultan apropiados y una única forma de pensar no es considerada como intrínsecamente mejor que otra para todo o en cualquier contexto.

Si se adapta la propuesta de Bachelard (2009) a las particularidades del conocimiento químico, los variados conceptos físicos y químicos pueden relacionarse con los distintos componentes. Al hablar en términos de perfil (Mortimer, 1992) el **realismo ingenuo**, se refiere básicamente al pensamiento de sentido común; **el empirismo** que trasciende la realidad inmediata mediante el uso de instrumentos de medida pero que aún no da cuenta de las relaciones racionales; **el racionalismo clásico**, en el que los conceptos pasan a formar parte de una red de relaciones racionales; **el racionalismo moderno**, en el que las nociones simples de la ciencia clásica se vuelven complejas e integran una red más amplia de conceptos; y también un **racionalismo contemporáneo**, todavía en desarrollo, que englobaría los avances más recientes de la ciencia a través de estudios sobre la forma, los fractales y sistemas no lineales que permiten la incorporación como objeto de estudio de sistemas complejos y los caóticos, situaciones distintas del equilibrio químico representadas por ecuaciones químicas, sistemas irreversibles, etc.

Mortimer (2000) usa la noción de perfil conceptual en lugar de perfil epistemológico, con el propósito de introducir algunas características que no están presentes en la vida filosófica de Bachelard, ya que su intervención es construir un modelo para describir la evolución de las ideas tanto en el espacio social de clase como en los individuos, a consecuencia del proceso de aprendizaje. La noción de perfil conceptual tiene obviamente características en común con la de perfil epistemológico, como, por ejemplo, la jerarquía entre las sucesivas zonas en donde cada zona siguiente se caracteriza por contener categorías de análisis con poder explicativo mayor que las anteriores.

En cuanto a la forma de representar el perfil conceptual, Mortimer (2000) haciendo referencia a la noción de Bachelard, afirma que las zonas del perfil se pueden representar en barras o columnas.

La altura de cada zona del perfil corresponde a la extensión en la que esa “manera de ver” está presente en el pensamiento individual, definido por el background cultural y por las oportunidades que el individuo tiene de usar cada división del perfil en su vida. Cuando mayor es una determinada zona del perfil, más fuerte es la característica del concepto en dicho perfil como un todo. Bachelard (2009) advierte que la altura de cada sector es una aproximación cualitativa grosera. Sin embargo, existen algunas distinciones que conviene señalar. La primera distinción es la relacionada con las características ontológicas y epistemológicas de cada zona de perfil. A pesar de tratar con un mismo concepto, el átomo cuántico, no pertenece a la misma categoría ontológica que el átomo clásico, un tipo de bloque clásico a partir del que se construye la materia. Esta distinción entre aspectos epistemológicos y ontológicos es importante, toda vez que muchos problemas en el aprendizaje de conceptos científicos han sido relacionados con dificultades para cambiar las categorías ontológicas a las que se asignan los conceptos.

Otro aspecto importante a resaltar en cuanto a la distinción con el perfil de Bachelard, es la toma de conciencia por el estudiante de su propio perfil, lo cual es un factor importante en el proceso enseñanza y aprendizaje. Este aspecto es suficiente para explicar algunos cuestionamientos a la interpretación del cambio conceptual como sustitución de las preconcepciones por los conceptos científicos (Galili y Bar, 1992).

El uso por el estudiante de concepciones previas en problemas cotidianos y/o nuevos podría indicar una falta de conciencia de su propio perfil. Tal como lo señala Mortimer (2000), el alumno habría adquirido el concepto newtoniano de movimiento, pero no se ha hecho consciente de la relación entre éste y su concepto anterior de que “el movimiento requiere fuerza” no sabiendo por tanto en qué contexto es más apropiado emplear uno o el otro. La falta de tal conciencia le llevará a generalizar su concepto anterior, que, por ser más familiar, sería usado con más seguridad en una nueva situación. Una situación nueva y potencialmente perturbadora servirá para evaluar si el alumno ha tomado conciencia del perfil de ideas o si por lo contrario las usa indistintamente. Otra característica importante de la noción de perfil conceptual, es que sus niveles precientíficos (Mortimer, 2000) no

están determinados por las escuelas filosóficas de pensamiento, sino por los compromisos epistemológicos y ontológicos de los individuos. Como las características individuales están fuertemente influenciadas por la cultura, **se puede intentar definir el perfil conceptual como un sistema supraindividual de formas de pensamiento que puede atribuirse a cualquier individuo dentro de una misma cultura.** A pesar de que cada individuo posee un perfil diferente, las categorías por las que se establece dicho perfil son las mismas para cada concepto.

Por otro lado, la metodología de utilizar varias fuentes de datos para construir el perfil conceptual se basa en las ideas de Vygotsky (Ribeiro y Mortimer, 2004), quien consideró que existen diferentes dominios genéticos de desarrollo de las funciones mentales superiores. Al confrontar los datos empíricos actuales con la reconstrucción racional de la historia del concepto, trabajaron con tres dominios genéticos: el sociocultural, representado por la historia de las ciencias; ontogenético, representado por los estudios sobre concepciones alternativas que exploran los contenidos de las ideas informales de los estudiantes acerca de diferentes conceptos científicos importantes y el microgenético, representado por los datos obtenidos en el aula.

Tal como se ha señalado anteriormente, la toma de conciencia de su perfil por parte del estudiante, es fundamental en su evolución conceptual para construir ideas o concepciones en zonas más racionales del perfil como resultado de un proceso de enseñanza y aprendizaje.

Principios epistemológicos y ontológicos en el cambio conceptual

Principios epistemológicos

Según Vosniadou (1994a), existe una incompatibilidad básica entre las teorías científicas y las teorías de dominio que poseen los sujetos, debido a ciertos supuestos epistemológicos impuestos por la teoría implícita, al sistema de creencias del alumno, que no serían compatibles con los supuestos subyacentes a la teoría científica. Debido que las teorías marcos o implícitas reciben cierta confirmación en la vida cotidiana, se instalan de manera muy sólida en la estructura

cognitiva y forman parte de la ecología conceptual del individuo. Pero habría que preguntarse, a que se refiere el aspecto epistemológico.

Vosniadou y Brewer (1992) incluyen como suposiciones epistemológicas aquellas que abarcan los criterios a partir de los cuales se decide qué constituye un fenómeno, así como una idea de estos diferentes fenómenos necesita explicarse y una preferencia general por las explicaciones casuales de estos. Cuando se pretende generar cualquier fenómeno cotidiano tal como: la evaporación del agua cuando hierve, la trayectoria de un balón en movimiento o la mejor manera de cuidar una planta, nuestro conocimiento intuitivo asume de forma implícita ciertos principios sobre la naturaleza de la realidad y actúa conforme a ellos (Pozo y Gómez, 1998).

Ciertas limitaciones que presentan los estudiantes en la construcción de los conceptos científicos se pueden explicar a partir de las propuestas de Gastón Bachelard (Mora, 2002) en relación con los obstáculos epistemológicos que la historia de la ciencia ha tenido que superar a lo largo de muchos siglos y en la enseñanza de las ciencias en distintos niveles educativos. Según Bachelard (1976, p. 19) “la noción del obstáculo epistemológico puede ser estudiada en el desarrollo histórico del pensamiento científico y en la práctica de la educación”. **Por obstáculos epistemológicos se entiende todas aquellas limitaciones o impedimentos que afecta la capacidad de los individuos para construir el conocimiento científico.**

Entre diferentes principios epistemológicos o supuestos implícitos sobre las relaciones entre el conocimiento que posee el aprendiz y el mundo, dan lugar, de hecho, a diferentes teorías de dominio. Por ejemplo en el conocimiento cotidiano individual se supone que la fuerza es una propiedad absoluta de los objetos, igual como lo hacemos con el calor y el peso, y no se considera que estos supuestos sean el producto de la relación entre objetos. Los estudiantes consideran que un objeto se mueve por la acción de un agente externo, y establecen restricciones entre sus teorías de la fuerza que impiden la asimilación del modelo newtoniano como un sistema de interacción y equilibrio dentro de un modelo formal. La rela-

ción causal entre fuerza y movimiento actuará como obstáculo en la comprensión del principio de la inercia o la diferenciación entre fuerza y movimiento.

Para Bachelard (1976, p. 27) “en la formación del espíritu científico el primer obstáculo es la experiencia básica”. Esta situación se presenta en el aula cuando los estudiantes tratan de comprender un concepto y explicarlo, elaboran construcciones personales en base a lo observado a su alrededor y en su interacción cotidiana. Por ejemplo cuando se les pregunta ¿Qué es un cambio de estado? Éstos contestan: “es cuando el hielo se derrite y se convierte en agua” éstos trasladan su experiencia de lo que observaron en un trozo de hielo, pero no hacen explícito el concepto y describen lo que han interiorizado a través de sus observaciones.

Vosniadou (1994b) propone lo que denomina “teoría global”, que resulta tanto de predisposiciones innatas al sistema cognitivo humano como del aprendizaje en los contextos culturales en la vida cotidiana. Esa teoría implícita diferiría de la científica no sólo en su forma de concebir el conocimiento, sino también en el tipo de entidades que forman de la teoría, en su ontología (Pozo y Gómez, 1998).

Principios ontológicos

Una teoría desarrollada por Chi (1992); Chi, Slotta y Leew, (1994) propone que es necesario un cambio conceptual cuando existe incompatibilidad ontológica entre la teoría científica y la teoría mantenida por el alumno. Según este modelo, las personas clasifican los objetos del mundo en un número limitado de categorías ontológicas, a las que se le atribuyen unas propiedades determinadas. Cuando se interpreta un hecho o un objeto se le asigna ciertas características ubicándolas en una categoría ontológica (es una enfermedad, un proceso de emancipación). Tal como lo indica Pozo y Gómez (1998), que “al categorizar un hecho u objeto, tendemos a atribuirle una serie de características (si es un pájaro tendrá alas y volará, tendrá pico y plumas, se reproducirá mediante huevos)” (p. 112).

Señala Keil (1992) que niños de 3-4 años utilizan estas categorías ontológicas para interpretar el mundo que los rodea con bastante eficiencia y poder predictivo, ya que les permiten atribuir y predecir muchas propiedades a objetos o situaciones nuevas a partir de su adscripción o categorización en entidades conocidas.

Para Chi (1992) la comprensión del mundo es organizada a partir de tres categorías fundamentales tales como: materia, procesos, y estados mentales. Estas categorías a su vez se subdividen para permitir diferenciar la naturaleza de algo que es considerado material por ejemplo en vivo/no vivo. Ahora bien, cambiar la comprensión individual del mundo, es cambiar las atribuciones ontológicas particulares. Si los alumnos interpretan la energía como materia es decir la sustancializan, la convierten en un objeto, y difícilmente podrán entender el principio de conservación de la energía, que requiere interpretarla como un proceso de interacción. Interpretar la energía o la fuerza como propiedades materiales es bien diferente a interpretarla como un proceso (Pozo y Gómez, 1998). Asumir que la motivación de los alumnos es un “estado mental” es distinto que concebirla como un proceso, resultado de las interacciones producidas en el aula.

Raviolo (2006) al analizar las entrevistas hechas a estudiantes universitarios sobre los modelos mentales que éstos usan para interpretar el equilibrio químico, probó la tendencia a “materializar” la ecuación química, es decir, a percibirla como “materia” y no como representación de un “proceso”. Esta tendencia puede ser revertida con un trabajo a partir de modelos que permitan construir la noción de reacción química como interacción.

El aspecto metacognitivo.

Investigadores han definido metacognición como el estar consciente sobre los propios fracasos de aprendizaje los cuales pueden inducir a la autorregulación y la coordinación consciente de tareas de aprendizaje (Brown, 1987; Flawel, 1976, 1981; Soto, 2002). Las investigaciones han demostrado que el desarrollo y el aprendizaje además de ser una ampliación de conocimientos, generalización y fortalecimiento de estrategias cognoscitivas en la solución de problemas, (Díaz, 2005) están altamente determinadas por el progresivo conocimiento adquirido sobre los procesos cognoscitivos y sobre el conocimiento mismo. Estos elementos se mezclan ampliamente, y es muy difícil asignar lo que corresponde a la cognición y a la metacognición.

En general, se habla de cognición cuando se hace alusión a diferentes elementos que participan en la actividad cognoscitiva (estrategias, procesos, operaciones, entre otras) para cumplir con una tarea, mientras que se hace referencia a la metacognición cuando participan elementos orientados hacia la comprensión de la forma en que se realiza la tarea, hacia el control mismo de la actividad cognoscitiva.

Las relaciones entre el aprendizaje, el conocimiento y las operaciones del pensamiento según el tipo o modalidad del conocimiento (desde el procedimental hasta el actitudinal) el nivel funcional y la exigencia cognoscitiva de las tareas (que fluctúa entre los procesos automáticos y los conscientes) y en los niveles de conciencia (del conocimiento implícito al explícito) muestran una relación dialéctica con la consecuencia, en tanto que son a la vez causa y consecuencia del desarrollo cognoscitivo (Díaz, 2005). El conocimiento procedimental tiene un carácter funcional y requiere baja abstracción, requiere menores niveles de atención, y fácilmente automatizable, en tanto que de tipo declarativo exige declaración y análisis de la información así como altos niveles de flexibilidad cognoscitiva y de abstracción, lo que es propio del dominio metacognoscitivo.

Mayor, Suengas y González (1993) asocian niveles metacognoscitivos bajos con procesos automáticos y niveles altos con procesos conscientes. Uno de los aspectos fundamentales que define la metacognición es el de los niveles de conciencia. De acuerdo a las teorías del cambio conceptual, el proceso de aprendizaje implica una redescrición representacional (Pozo, 1999; Pozo y Rodrigo, 2001; Pozo y Gómez, 2002) en la que la representación del concepto se va a modificar en función de la experiencia y de la reorganización de las redes semánticas.

Un momento importante en el proceso enseñanza y aprendizaje es la toma de conciencia por el alumno de su propio perfil conceptual (Mortimer, 2000) lo que permite la comparación entre las diferentes zonas que lo constituyen, así como la evaluación del dominio al que se aplica y del poder relativo de cada una de las zonas.

En el proceso de toma de conciencia se procura que el estudiante reconozca el dominio y el contexto en los que son aplicables sus ideas previas, sin que

deba abandonarlas. El mismo proceso podrá ocurrir en un nivel más avanzado, cuando el estudiante tenga que restringir el dominio de una vieja concepción científica en la medida en que se hace consciente de una nueva zona en su perfil (Mortimer, 2000). Es lo que ocurre, por ejemplo, cuando se adquiere una visión mecánico-cuántica de la materia que permite ver las limitaciones de una visión atómica clásica. Para adquirir ese nivel de consciencia los estudiantes tienen que pasar por un proceso de generalización del nuevo concepto a nuevas y diferentes situaciones. En este proceso, el nuevo concepto puede adquirir estabilidad y puede ser usado para explicar nuevos fenómenos, incluso potencialmente perturbadores. Para adquirir conciencia de un concepto y de su relación dentro de un perfil conceptual, dicho concepto debe ser usado en nuevas situaciones y problemáticas que demandan su uso consciente.

Las concepciones previas son más familiares y se usan en forma automática al tratar de relacionar una situación o concepto, en vez de la nueva estructura que ha sido construida. De este modo, para adquirir estabilidad, el nuevo concepto debe ser sometido a situaciones problemáticas y perturbadoras. En este proceso, el estudiante puede adquirir conciencia no sólo del nuevo concepto científico, sino también de las relaciones entre las diferentes zonas de su perfil conceptual, y aprende a distinguir donde es más consciente usar cada zona. Por lo tanto, el aspecto metacognitivo, juega un papel relevante para el cambio conceptual, ya que la toma de conciencia en el proceso de aprendizaje de conceptos científicos, permite que los nuevos conceptos construidos junto a las ideas que ya existen en la estructura cognitiva del aprendizaje, se puedan aplicar en contextos determinados, y a situaciones nuevas y perturbadoras demostrando así la fortaleza del cambio conceptual.

A partir de los aportes que brindan los antecedentes desde el punto de vista metodológico y de las teorías y conceptualizaciones teóricas en las cuales se sustenta la interpretación de los resultados de esta investigación de tesis doctoral, tales como: el conocimiento de la ciencia Química, su perspectiva didáctica, el concepto de equilibrio químico, las ideas o concepciones sobre este tema y posibles obstáculos epistemológicos y ontológicos en la construcción de dicho concep-

to, para un cambio conceptual, es que se propone a continuación una metodología para el levantamiento del perfil conceptual del equilibrio químico en estudiantes universitarios de educación, como un modelo de concebir y estudiar la evolución de las ideas cotidianas y científicas presentes en la estructura cognitiva de estos estudiantes.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describen el diseño y la metodología de investigación los cuales permiten la organización de los elementos del trabajo que, junto con las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de la información y el método de análisis facilitaron la consecución de los objetivos propuestos.

La metodología empleada permite evaluar la ocurrencia de una variedad de visiones y concepciones que tienen los estudiantes universitarios de Educación en ciencias físico naturales con relación al equilibrio químico, las cuales serán agrupadas en ciertas categorías que emergen del propio estudio a las respuestas de estos estudiantes a un instrumento de recolección de la información. Estas categorías se constituyen en las zonas del perfil conceptual que tienen el grupo participante sobre el concepto de equilibrio químico.

En el marco referencial del problema, se encuentran los elementos epistemológicos en que se fundamenta la concepción científica del perfil conceptual. Bajo esta visión, se estudiaron las implicaciones de las distintas concepciones que tienen los participantes, en el aprendizaje del concepto del equilibrio químico.

Paradigma de la investigación

Siendo consecuentes con la naturaleza del planteamiento hecho, el paradigma de la presente investigación se fundamenta en lo filosófico humanista, el cual permite comprender e interpretar las distintas maneras que tiene el individuo de ver su realidad. Este paradigma llamado también cualitativo e interpretativo, engloba un conjunto de corrientes cuyo interés se centra en el estudio de los significados de las acciones humanas y de la vida social (Albert, 2007).

Dentro de esta investigación, se busca describir, interpretar y comprender las distintas maneras de pensar y conceptualizar que tienen estudiantes y graduados en educación en Ciencias Físico Naturales sobre el concepto del equilibrio químico. Estas maneras de pensar pueden estar relacionadas con el proceso de aprendizaje de un concepto, a través de la interacción social en el aula de clase, en los cursos a lo largo de una formación curricular o a través del contacto con distintos fenómenos y experiencias de la vida cotidiana. Las diferentes maneras que tiene el ser humano de conceptualizar el mundo o de pensar sobre un determinado concepto, son estudiadas y analizadas dentro de lo que se ha denominado perfil conceptual (Mortimer, 2000) y así tener la posibilidad de establecer implicaciones y relaciones desde el punto de vista del aprendizaje del concepto de equilibrio químico en el grupo de participantes.

Partiendo del hecho de que los estudiantes y graduados participantes, son futuros docentes en ciencias naturales, es importante el levantamiento y estudio del perfil conceptual del equilibrio químico, para poder analizar las posibles relaciones con el proceso de aprendizaje de dicho concepto, ya que posteriormente será enseñado por estos participantes.

Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptiva e interpretativa (Albert, 2006) la cual ofrece la oportunidad de adentrarse en la trama de lo que subyace en el interior de lo que se piensa, se dice y de lo que se hace, en este caso particular, de atrapar las diversas formas que tienen los estudiantes de educación en ciencias físico-naturales de conceptualizar el equilibrio químico. Se analizaron las respuestas dadas por los informantes de la investigación a un instrumento diseñado y validado para la recolección del mayor número de maneras de conceptualizar el equilibrio químico que pudieran estar en el pensamiento individual de los estudiantes participantes. Estas descripciones e interpretaciones constituyeron las bases para realizar seguidamente la categorización de estas ideas y proceder al levantamiento de las zonas del perfil conceptual del equilibrio químico.

El proceso de agrupar todas aquellas formas que tienen los participantes de pensar y conceptualizar el equilibrio químico, es con el objetivo de determinar las categorías, o zonas del perfil conceptual. Todas estas ideas, pudieran tener alguna interpretación a partir de la génesis del concepto de equilibrio químico y/o de las ideas que han tenido los estudiantes sobre este concepto y que han sido objeto de estudio en el área de investigación de la enseñanza de las ciencias.

Este tipo de investigación busca la comprensión de las distintas interrelaciones que se pudieran dar entre la variedad de ideas o formas de pensar, descritas en un perfil conceptual y la construcción del concepto de equilibrio químico (Rodríguez, Gil y García, 1999).

Diseño de la Investigación.

Bajo la visión paradigmática en que está enmarcada esta investigación, se puede considerar que el conjunto de actividades que se llevaron a cabo para dar respuestas a las interrogantes de investigación, siguieron un diseño de campo, con un enfoque mixto (Hernández, Fernández y Baptista, 2006, p. 751) tomando en cuenta la frecuencia con que se presentan algunas categorías que emergen del análisis de la información una vez aplicado el instrumento directamente con los informantes. El uso de frecuencias, fue para contrastar o complementar la información obtenida por vías cualitativas (Rodríguez, Gil y García, 1999, p.216), en

este caso, se usaron para evaluar la extensión de cada manera de ver o de pensar que tiene cada participante sobre el equilibrio químico, y la altura de cada zona, tal como lo afirma Mortimer (2000, p. 52), “es tan sólo una aproximación cualitativa grosera”, lo que permitió mediante la inducción analítica, la categorización de las expresiones de los participantes (Taylor, y Bogdan, 2000) y hacer el levantamiento del perfil conceptual del equilibrio químico.

En esta investigación en la medida que la atención se enfocó en los significados y las formas de conceptualizar el equilibrio químico por parte de los participantes, fue que emergieron las categorías que fueron conectadas para construir la teoría explicativa necesaria que sustentó el levantamiento del perfil conceptual del equilibrio químico.

Población y muestra o informantes

Los informantes fueron seleccionados de manera intencional de acuerdo a la naturaleza de la investigación y los objetivos propuestos en la misma. Dicha selección se llevó a cabo a partir de una población conformada por todos los estudiantes de la carrera de licenciatura en Educación mención Ciencias Físico-Naturales. De esta población se escogieron tres grupos de estudiantes de dicha mención durante los semestres A y B-2015, que estuvieron conformados de la siguiente manera: grupo 1, estudiantes del primer y segundo semestre; grupo 2: estudiantes del cuarto y quinto semestre y el grupo 3: estudiantes del octavo, noveno y décimo semestre. Estos estudiantes fueron contactados directamente en horas de actividades de clases en distintos cursos del semestre en desarrollo, con la autorización respectiva del profesor de cada curso, y el acuerdo voluntario con los estudiantes que decidieron responder el instrumento.

El objetivo de escoger tres grupos en distintos semestres de la carrera, fue para hacer el levantamiento y caracterización del perfil conceptual del equilibrio químico en cada grupo y realizar descripciones e interpretaciones de cada grupo y entre grupos y tener la posibilidad de estudiar la evolución de dicho perfil, a través de los distintos semestres de la carrera.

A pesar que la noción de perfil conceptual fue definida en forma individual, lo que podría invalidar el intento de atribuir un perfil a un grupo, esa estrategia posibilita la identificación de las tendencias en la evolución de los perfiles conceptuales. Ese es el motivo que investigadores como Coutinho, El-Hani, y Mortimer, (2007 a; b) defienden la utilidad de ese tipo de análisis, extendiendo los procedimientos metodológicos disponibles para el trabajo sobre perfiles conceptuales.

Otros informantes o participantes incluidos en esta investigación, fue un grupo de profesores graduados en la licenciatura en Educación mención Ciencias Físico Naturales en distintas concentraciones, incluso algunos de ellos con estudios de Maestría culminados. Este grupo de informantes, fue contactado en el período de enero a julio de 2016 en instituciones de educación media, ubicadas en la zona urbana de la ciudad de Mérida, Venezuela. El objeto de la escogencia de este grupo fue realizar un análisis sobre: la toma de conciencia de estos participantes, al enfrentarse con algunas situaciones problemáticas relacionadas con el equilibrio químico y de las posibles zonas del perfil conceptual del equilibrio químico que pudieran emerger una vez finalizado su período de escolaridad de pregrado.

Técnicas e instrumentos de recolección de la información

En trabajos anteriores sobre perfil conceptual, han usado pre-test (Mortimer, 1994; 2000), cuestionarios (Gobara y Grea, 1997; Chauvet, 1994 y Coutinho,; El-Hani y Mortimer, 2007a; b) y textos producidos por los alumnos (Solsona, Izquierdo y De Jong, 2002) como instrumentos para validar la ocurrencia de las zonas del perfil.

En este trabajo se utilizó un cuestionario, diseñado para evaluar las distintas formas de conceptualizar el equilibrio químico por parte de los grupos participantes de estudiantes de la licenciatura en Educación seleccionados y por el grupo de profesores graduados. Es importante señalar, que las concepciones e ideas recolectadas con la aplicación de técnicas e instrumentos como cuestionarios y entrevistas revelan, muchas veces, datos relacionados con la génesis de un concepto en un corto período de tiempo, permitiendo un estudio longitudinal de corto plazo, característico del dominio microgenético de Vigotsky (Wertsch, 1988, p.71;

Wertsch y Stone, 1985; Bermejo, 2005). De esta forma, es posible detectar la existencia probable de la influencia mutua de cada una de las fuentes utilizadas, lo que es coherente con la idea de trabajar con diferentes dominios genéticos.

El cuestionario que se aplicó en esta investigación, fue evaluado en discusión directa por expertos investigadores en perfil conceptual, entre los que se encuentran los profesores Eduardo Fleury Mortimer y Francisco Ángel Coutinho de la Facultad de Educación de la Universidad Federal de Minas de Gerais (UFMG) en Belo Horizonte, Brasil, quienes colaboraron ampliamente para lograr que el instrumento tuviera el mayor alcance posible como para evaluar la ocurrencia de las zonas del perfil conceptual. La elaboración y validación del cuestionario fue llevada a cabo durante el cumplimiento de un periodo de pasantías en la UFMG, desde abril de 2013 hasta julio del mismo año, que involucró la asistencia a cursos especiales de postgrado y actividades en el grupo de investigación a la que están adscritos los profesores colaboradores en la evaluación del cuestionario. Luego este instrumento se sometió a una prueba piloto con un grupo de 31 estudiantes de Ciencias Química del cuarto semestre de la UFMG, quienes colaboraron para levantar las categorías que posteriormente se convertirían en las zonas del perfil.

Es importante señalar que aunque las categorías y zonas del perfil conceptual del equilibrio fueron levantadas con estudiantes universitarios brasileños, las zonas del perfil estudiado se pueden considerar las mismas para los grupos de participantes de este trabajo, ya que en opinión de Mortimer (2000), las categorías que caracterizan el perfil son independientes del contexto, puesto que dentro de la misma cultura aparecen las mismas categorías por las que se determinan las diferentes zonas del perfil. En nuestra civilización occidental e industrial, las zonas científicas del perfil están definidas claramente por la historia de las ideas científicas. En cuanto a las zonas precientíficas, la intensa investigación sobre las ideas alternativas de los estudiantes, realizadas en los últimos años, han identificado los mismos tipos de ideas relacionadas con un determinado concepto científico en diferentes partes del mundo (Mortimer, 2000).

En el anexo 1 se presenta la estructura del cuestionario que se validó con los estudiantes universitarios brasileños de Ciencias Química y a través de la in-

interpretación y análisis de sus respuestas a las cuestiones planteadas, se procedió a la categorización de sus respuestas y realizar el levantamiento de las zonas del perfil conceptual del equilibrio químico.

Otro instrumento utilizado en esta investigación fue la entrevista (Anexo 2), incluyendo algunas preguntas del cuestionario siguiendo las sugerencias de los expertos y colaboradores que intervinieron en la elaboración del cuestionario. La aplicación de este instrumento estuvo inspirada en el trabajo de Coutinho, El-Hani y Mortimer, (2007a) en el trabajo titulado “El perfil conceptual de vida”.

Para la estructura de la entrevista, también se tomaron en cuenta situaciones problemáticas de hechos de la vida cotidiana relacionados con el equilibrio químico, con la finalidad de evaluar la presencia o no de las zonas del perfil y la toma de conciencia en cada contexto planteado, después de todo el proceso de escolarización en la carrera de Educación en ciencias físico naturales.

Para la toma de conciencia se consideró el uso de conceptualizaciones del equilibrio químico que tengan un acercamiento hacia los aspectos que lo definen y que sean aplicadas en la explicación de cada contexto planteado.

Se entrevistaron a ocho personas graduadas, donde algunos de ellos ya tenían estudios a nivel de Maestría culminados en distintas ramas relacionadas con la Educación. Es de hacer notar, que de los ocho entrevistados los primeros cuatro se tomaron en cuenta para los estudios de confiabilidad y hacer los ajustes necesarios en la estructura y aplicación de la entrevista. Fueron tomados en cuenta cuatro profesores graduados en la concentración química, los cuales fueron codificados como Prof (1,2,3 y 4) resguardando su identidad. El entrevistador fue codificado como Entrev. Las entrevistas fueron transcritas completamente para realizar posteriormente el análisis respectivo.

Las situaciones que se plantean en la entrevista tienen como objetivo provocar ciertas movilizaciones cognitivas en ciertos contextos, las cuales requieren del uso consciente de conceptualizaciones del equilibrio químico.

En cuanto a la estructura de la entrevista, las tres primeras preguntas se tomaron del cuestionario para generar la mayor cantidad de ideas sobre el equilibrio y evaluar la ocurrencia de algunas zonas del perfil.

La cuarta y quinta pregunta buscaban generar ideas del equilibrio químico relacionadas con el cuerpo humano, para evaluar la ocurrencia de alguna zona relacional, donde el entrevistado probablemente pudiera establecer una relación del concepto de equilibrio químico tal como se concibe en la ciencia Química con conceptos manejados dentro de la Biología o la Bioquímica.

En la sexta pregunta se buscaba que emergieran ideas donde los entrevistados pudieran aplicar el concepto de equilibrio químico a la situación particular de acidez estomacal en el ser humano para evaluar la presencia de zonas posiblemente de Le Chatelier e ideas que tienen que ver con el equilibrio ácido-base.

La séptima pregunta propone una situación que puede ser explicada a partir de concepciones del equilibrio químico y principio de Le Chatelier de un sistema gas-líquido en una bebida gaseosa (Raviolo, Gennari y Andrade, 2000).

La octava y última pregunta se basó en un fenómeno de absorción de luz, de cómo se ve modificado el sistema AgCl (Cloruro de Plata) impregnado en los cristales del lente. Cuando los lentes son sometidos a la presencia de la radiación ultravioleta, los iones Ag^+ son reducidos a plata metálica Ag^0 y en cuanto a los iones cloruros Cl^- , son oxidados a Cloro elemental (Rocha, 2016). Es la plata metálica la responsable por el oscurecimiento de los cristales. En esta situación, se espera que se generen ideas del principio de Le Chatelier, para explicar el por qué del cambio de color de los lentes de transparente a oscuro o viceversa de acuerdo a la perturbación hecha en presencia o ausencia de luz. En el anexo 2 se presenta la estructura de la entrevista.

Análisis de los datos

En esta investigación los datos se analizaron a través de la técnica de la inducción analítica (Taylor y Bogdan, 2000; Glaser y Strauss, 1967), ya que a través del estudio de la naturaleza conceptual de las respuestas que dan los participantes al instrumento de recolección de la información, emergen las categorías (Goetz y LeCompte, 1988, p.177), que finalmente se convertirán en las zonas del perfil conceptual del equilibrio químico. Estas categorías fueron establecidas y definidas a la luz de al menos tres dominios genéticos de acuerdo a las ideas de Vygotsky

(Wertsch, 1988). Al confrontar los datos empíricos con la reconstrucción racional de la historia del concepto, se procuró trabajar con el dominio sociocultural representado por el desarrollo histórico del concepto, el ontogenético, representado por los estudios de las concepciones alternativas que exploran los contenidos de las ideas informales de los estudiantes acerca de diferentes conceptos científicos, y el microgenético representado por los datos obtenidos a través de la aplicación del cuestionario (Ribeiro y Mortimer 2004).

Cabe destacar que en el proceso de categorización y levantamiento del perfil conceptual del equilibrio químico, se utilizó una aproximación numérica, la cual consiste en contabilizar el número de veces en que aparece una determinada categoría en las expresiones de los estudiantes y poder tener la altura o la extensión de cada zona del perfil conceptual (EZP). Es importante aclarar, que este aspecto numérico no tiene por objetivo algún análisis de tipo cuantitativo y menos aún la validación o comprobación de algún planteamiento hipotético, sino que es complementario (Rodríguez, Gil y García, 1999, p. 216) a las descripciones e interpretaciones hechas por vías cualitativas, ya que la altura de cada zona representa una aproximación cualitativa grosera (Mortimer, 2000), de alguna manera de conceptualizar el equilibrio químico, que está presente en el pensamiento individual de cada estudiante participante.

Resultados de la prueba piloto

Categorías emergentes con la aplicación del Cuestionario

Es importante destacar que las categorías se establecieron de acuerdo a ciertos términos y expresiones que aparecieron con cierta frecuencia en las respuestas de los estudiantes participantes y que se relacionan con el origen socio cultural y el estudio de las dificultades e ideas alternativas del equilibrio químico. Se aclara que en algunas respuestas se encontraron varias categorías y también se descartaron algunas respuestas que se llamaron incoherentes por no obedecer a ningún principio, y eran muy confusas y por lo que presentaron gran dificultad para categorizarlas.

En la cuestión 1, se estudiaron las respuestas de los estudiantes sobre la noción individual del concepto de equilibrio. Entre las expresiones se encuentran las siguientes: “Equilibrio significa constancia de algo”, “Equilibrio es algo constante”, “Equilibrio es una simetría de masa y peso”, “Equilibrio es cuando hay las mismas cantidades iguales en lados opuestos”. Entre las categorías que aparecieron se encontraron las siguientes: **constancia, misma cantidad, igualdad de cantidad, simetría**, estas se unieron en una sola categoría que se llamó **igualdad**, ya que en términos generales las repuestas indicaban una igualdad de masa o de cantidad de reactivos tanto de los productos como de los reaccionantes. También aparecieron categorías como **estabilidad, equilibrio químico, balance y compensación**. La noción general de equilibrio la relacionaron con el equilibrio químico al usar términos como: **reversibilidad, igualdad en las velocidades de aparición y desaparición de reactivos y productos**. Algunas de las nociones que han aparecido hasta ahora, quizás con excepción de la referida al equilibrio químico, probablemente tengan algún fundamento en las visiones generales del equilibrio mecánico que incluye elementos de simetría basados en los primeros planteamientos Arquímedianos de la cultura helénica (Alemañ, 2012).

La idea sobre el origen de las concepciones sobre equilibrio químico aquí señalada, guarda relación con el trabajo de Raviolo, Baumgartner, Lastres y Torres (2001), cuando afirman que los estudiantes no tienen ideas espontáneas sobre el equilibrio químico antes de ser presentado este tema en el aula y probablemente las ideas o concepciones sobre este tema sean introducidas en planteamientos didácticos y no necesariamente guarden una relación con el desarrollo histórico del concepto de equilibrio químico.

En la cuestión 2, se les presenta a los estudiantes la imagen de una balanza que simula de un lado los reaccionantes Hidrogeno (H_2) y nitrógeno (N_2) y del otro lado el amoniaco (NH_3).

Esta cuestión fue inspirada en el trabajo de Raviolo (2006) donde hace un estudio sobre las imágenes que forman los estudiantes en el proceso de enseñanza y aprendizaje del equilibrio químico. Según Alemañ (2012) la importancia que

tiene el tratamiento arquimediano de palancas y balanzas para el tema del equilibrio químico, reside en que los estudiantes dividen el sistema balanza en dos subsistemas, ambos brazos de la balanza, entre los cuales se impone un requisito de simetría (igualdad de pesos y distancia por ejemplo). En esta cuestión aparecieron respuestas tales como: **“Equilibrio es en cierta forma igualdad”**, **“Si, existe un equilibrio de masa de los dos lados de la ecuación”**, **“si consideramos la masa total en ambos lados, ellas son iguales, entonces se presentan equilibradas las situaciones en ese estado”**. Se puede notar que el equilibrio químico es asociado a la categoría Igualdad elemento de simetría de los planteamientos arquimedianos como por ejemplo: “Si tenemos la misma masa en los dos lados de la balanza, luego habrá un equilibrio”.

En la cuestión 3, se les planteó a los estudiantes que establecieran una aproximación entre el equilibrio químico y los equilibrios: mecánico, ecológico, económico y social. Las respuestas de los alumnos marcaron una tendencia a asociar el equilibrio químico con los equilibrios mecánicos y ecológicos. En el caso del equilibrio mecánico las respuestas fueron justificadas con base a visiones pendulares del equilibrio (Jonhstone, Mac Donald y Webb, 1977; Rocha; Scandrolí; Domínguez, y García, 2000; Rocha; García; Rodeja y Domínguez, 2000). En el caso del ecológico a la aplicación del principio de Le Chatelier (Quílez, 1997a; Quílez, 1997b; Quílez, 1998; Quílez y Solaz, 1995b) como expresión del restablecimiento del equilibrio cuando fuese perturbado. También se observó la aparición de respuestas mixtas cuando algunos estudiantes establecieron relaciones tales como: mecánico-ecológico, ecológico y social. En estas repuestas los estudiantes las justificaron usando términos como: igualdad de energía y materia, compartimiento de energía, velocidad de reacción, restablecimiento del orden, fotosíntesis, proceso químico y balanceo. Estos términos probablemente pueden tener un origen en el desarrollo histórico del concepto, experiencia cotidiana e influencia curricular tanto de ideas promovidas en aula de clase en el desarrollo de contenidos de la misma Química o de ideas infundidas con el uso de analogías físicas de la ba-

lanza o de transvasar agua, para transmitir la idea del equilibrio (Raviolo y col, 2001).

En la cuestión 4, (¿Cuáles serían las condiciones que se deben cumplir entre los átomos, iones y moléculas para que en una reacción química estén en equilibrio químico?), se pretende que afloren ideas que justifiquen la condición de equilibrio químico. Estas ideas pueden fundamentarse en variables como: temperatura, concentración, energía de rompimiento y formación de enlaces, velocidad de reacción, constante de equilibrio, simultaneidad y sistema cerrado. Se puede decir que se trata de las ideas en que se fundamenta el equilibrio químico. En esta cuestión la categoría igualdad aparece en expresiones de los estudiantes tales como: **“para que ocurra equilibrio químico los reactivos tienen que producir la misma cantidad de materia que los productos sin pérdidas ni ganancias”**; la categoría estequiometría aparece cuando los estudiantes manifiestan lo siguiente: **“para que ocurra equilibrio químico en una reacción química basta que está balanceada”** y **“porque es necesario un balanceamiento para que el mismo ocurra”** y **“ No, ahora tenemos la misma cantidad de átomos en cada parte”**.

La categoría compartimentada también se presenta en esta cuestión al encontrar respuestas de los estudiantes tales como: **“cantidad de reactivos que sean iguales para que no haya deficiencia en ninguno de los dos lados”** y **“que ambos lados de la ecuación tenga la misma cantidad de átomos, iones y moléculas”**.

La categoría equilibrio químico también aparece a partir de las siguientes expresiones: **“la reacción será reversible”**, **“concibe el equilibrio como un sistema en el mismo ambiente y dinámico”** y **“para que ocurra equilibrio químico la reacción debe ser reversible y las velocidades de las reacciones (directa e inversa) deben ser iguales”**. Es importante hacer notar que algunas expresiones de los estudiantes, pueden contener posiblemente la presencia de varias categorías, factor importante a tener en cuenta cuando se haga el levantamiento

aproximado de cada zona del perfil conceptual del equilibrio químico en los participantes de la investigación.

En la cuestión 8, se les planteó a los estudiantes diferentes opciones a través de un modelo para representar la reacción de obtención del ácido iodhídrico (HI (g)) a partir de sus elementos. Para representar los átomos de hidrógeno y de yodo se propuso esferas de distintos colores. **En la opción a**, se plantea el modelo que representa a la ecuación. En este caso se da una idea compartimentada del equilibrio químico, si toma en cuenta que la doble flecha separa a reactivos y productos, y a la vez estática del equilibrio ya que en la representación propuesta, los átomos y las moléculas no exhiben la idea de movimiento.

En la opción b, se brinda otros elementos importantes del equilibrio químico tales como: todas las especies están en un solo ambiente (visión no compartimentada), y a la vez la idea de movimiento en todas las direcciones posibles de las especies, al colocarles flechas en distintas direcciones lo que trae como consecuencia los posibles choques entre las especies y provocar así la formación y rompimiento de nuevas moléculas en sus especies originales simultáneamente, aunque esta última idea pudiera estar a un nivel de abstracción más allá de lo que representa el modelo.

La opción c, muestra un sistema no compartimentado de las especies pero éstas no muestran la idea de movimiento (visión estática del equilibrio). **En la opción d**, se muestran las especies con la idea de movimiento pero en ambientes separados de reactivos y productos y **la opción e**, también se muestran los reactivos y productos en ambientes separados pero sin la idea de movimiento. Se encontró que la mayor proporción de respuestas concuerda con una visión dinámica y a la vez no compartimentada del equilibrio químico. Sin embargo, otra cantidad de respuestas, muestra una visión compartimentada y dinámica, compartimentada no dinámica y otro grupo de respuestas de los estudiantes toman como modelo a la ecuación química, asumiendo que ésta es la mejor representación del sistema planteado (Raviolo, 2006; Raviolo y Garritz, 2007).

En la cuestión 9 permite la justificación del por qué de la escogencia de los modelos propuestos en la cuestión 8.

Al parecer los alumnos que escogieron **la opción (a)** donde el modelo propuesto se toma como representación de la situación de equilibrio ya que el modelo es interpretado exactamente como si fuese la reacción. Este modelo admite la visión compartimentada de reactivos y productos y también se asume la negación del dinamismo del equilibrio químico. Los estudiantes justificaron la escogencia de la opción (a), al afirmar: **“ocurre equilibrio pero, para seguir el ejemplo de la ecuación química debe tener apenas una molécula de hidrógeno y una molécula de iodo formando dos moléculas de HI”**. En esta expresión se puede encontrar una visión microscópica poco arraigada en el pensamiento de los estudiantes y probablemente se deba a la influencia curricular, desde planteamientos didácticos erróneos hasta ideas infundidas a través de los libros texto (Raviolo y Martínez, 2005).

En la opción b, se representa al sistema donde reactivos y productos están juntos en un mismo compartimiento o espacio y además según presentado en esta opción, se le coloca a la representación de cada molécula, flechas en distintas direcciones para indicar movimiento. Los estudiantes justificaron la escogencia de esta opción, al afirmar: **“las demás no existía representación del movimiento”, “separación de reactivos y productos”, “las reacciones que ocurren no están en el mismo sistema”**. En estas afirmaciones, los estudiantes demuestran la presencia de una visión dinámica y no compartimentada del equilibrio químico, lo que puede convertirse en elemento definitorio de una categoría o de una zona del perfil conceptual. **En la opción c**, se presenta un sistema donde reactivos y productos están en un mismo ambiente pero no se incluyen las flechas que representan movimiento de cada especie, dando así oportunidad a que se expresen aquellas ideas del equilibrio no compartimentada pero con noción estática. **En la opción d**, se representa una visión dinámica pero compartimentada, al dar la idea de reactivos en un ambiente separado de los productos. **En la opción e**, se representa un equilibrio compartimentado y estático, sin embargo se busca que se presenten

aquellas ideas relacionadas a la estequiometría de la reacción asociadas con dificultades de la visión microscópica del equilibrio. Entre las expresiones que pueden llegar a constituir una categoría como equilibrio químico y que aparecen en la cuestión 8, se encuentran las siguientes: **“El sistema como un todo necesita tener todas las especies de la reacción y no separadas”, “para que ocurra equilibrio químico la reacción debe ser reversible y las velocidades de las reacciones (directa e inversa) deben ser iguales”.**

En la cuestión 12 se busca que los estudiantes expongan aquellas ideas relacionadas con un equilibrio perturbado y la manera cómo el sistema vuelve a su estado de equilibrio. En algunas investigaciones (Quílez, 1997a; 1997b), señalan que las ideas que conciben los estudiantes sobre equilibrios perturbados, están relacionadas con la aplicación del principio de Le Chatelier como regla universal e infalible (Quílez y Solaz, 1995a; Quílez, 1998) para predecir cómo y de qué manera el sistema vuelve a alcanzar la condición de equilibrio. Entre las respuestas que dieron los estudiantes a esta cuestión se encuentran las siguientes: **“ocurre un desplazamiento a la izquierda para que haya mayor formación de NH_4Br para retornar al equilibrio”, “Desplazando la reacción para la izquierda” y “Aumentando la cantidad de NH_3 desplaza la reacción para el sentido inverso para consumir el exceso y adquirir de nuevo el equilibrio”.** Se puede notar la aplicación del principio de Le Chatelier sin tomar en cuenta ciertas variables como: planteamientos físico-químicos, la estequiometría de la reacción, comparaciones entre la constante de equilibrio y la misma relación de concentraciones de reactivos y productos en cualquier momento de la reacción. También es importante tomar en cuenta que en estas ideas pareciera estar presente la idea compartimentada del equilibrio cuando se menciona por ejemplo: “la reacción se desplaza a la izquierda”, idea ésta que pudiera tener relación con ideas infundadas a partir de planteamientos didácticos incorrectos. Es importante señalar que en una sola expresión, existe la posibilidad de tener la presencia de dos o más categorías, lo cual es importante al momento de calcular la extensión de cada zona del perfil pa-

ra describir las zonas dominantes y sus posibles implicaciones en el aprendizaje del concepto del equilibrio químico.

Determinación de las zonas del Perfil conceptual de Equilibrio Químico en la muestra piloto.

Igualdad

Esta zona o categoría tiene su inspiración en la literatura en el trabajo de Raviolo (2007), donde plantea que el equilibrio químico de igualdad se alcanza cuando la cantidad de reactivos es igual a la cantidad de productos. Esta categoría igualdad tiene su recurrencia en el desarrollo histórico del concepto de equilibrio, a partir del planteamiento arquimediano del sistema "balanza", desde el cual se divide imaginariamente en dos subsistemas, ambos brazos de la balanza, entre los cuales, se impone un requisito de simetría (la igualdad de pesos y distancias) a fin de garantizar el equilibrio (Alemañ, 2012).

Para designar el equilibrio químico, se puede evidenciar en la tabla 1, el empleo de la zona "igualdad" en algunas respuestas dadas por los **estudiantes informantes** de la prueba piloto del cuestionario de esta investigación.

Estequiometría

Esta categoría encuentra su soporte en algunos trabajos reportados en la literatura sobre el tema de equilibrio químico (Hakling, y Garnett, 1985; Quílez, 1997a, 1997b y Raviolo 2007), donde abordan el estudio de algunas dificultades conceptuales en una muestra de estudiantes de distintos niveles, referidas a la estequiometría.

Tabla 1. Zona "Igualdad" en los estudiantes informantes de la prueba piloto

ZONA	EXPRESIONES
	"Equilibrio es en cierta forma de igualdad"
	"Sí, existe en equilibrio de masa de los dos lados de la ecuación"
	"Sí, pues si consideramos la masa total"

IGUALDAD	en ambos lados, ellas son iguales entonces presentan equilibradas las situaciones en este estado”
	“Si, pues la cantidad de materia que se tiene de un lado, está presente en el otro lado”
	“Para que ocurra equilibrio químico los reactivos tienen que producir la misma cantidad de materia que los productos sin pérdidas ni ganancias”

Fuente: Información obtenida en la investigación

Explican estos autores que las ideas sobre estequiometría se deben al reiterado uso de estrategias didácticas erradas en las clases de Química, cuando el profesor hace énfasis en el uso del balanceo de la ecuación para realizar cálculos estequiométricos, reactivo limitante, reactivo en exceso y cálculos de concentraciones en el equilibrio, lo que hace que la idea estequiométrica tenga cierto arraigo entre los estudiantes que tienen contacto con temas relacionados al equilibrio químico. En la tabla 2, se observan ejemplos donde la categoría “estequiométrica” emerge entre **los estudiantes informantes**.

Esta categoría está presente en las respuestas de los estudiantes al conceptualizar al equilibrio químico, como cantidades que se mezclan en proporciones iguales de reactivos y productos al concebir a la ecuación como representación del sistema en equilibrio. También existe una manifestación de balance entre productos y reactantes y que la cantidad de átomos en los reaccionantes debe ser igual a la obtenida en los productos.

Tabla 2. Zona "Estequiométrica" en los estudiantes informantes de la prueba piloto

ZONA	EXPRESIONES
	“Equilibrio quiere decir un balance entre algo”
	“No, apenas forma dos moles de NH_3 con la reacción de N_2 y 3H_2 ”

ESTEQUIOMÉTRICA	“Si, porque la cantidad de productos y reaccionantes se mantienen constantes”
	“Si, porque inicialmente habían 2 átomos de nitrógeno y seis átomos de hidrógeno y en el final se mantiene la misma cantidad”
	“Si, porque inicialmente habían 2 átomos de nitrógeno y seis átomos de hidrógeno y en el final se mantiene la misma cantidad”
	“Sabido que tenemos una cantidad equimolar tenemos un equilibrio químico de forma que habrá un equilibrio entre productos y reactivos”
	“Para que ocurra el equilibrio químico en una reacción química basta apenas esté balanceada”

Fuente: Información obtenida en la investigación

Compartimentada

La idea y conceptualización compartimentada del equilibrio químico puede tener su origen desde los planteamientos arquimedianos del sistema “balanza” que crea una imagen donde ambos brazos de la balanza se dividen en dos subsistemas (Alemañ, 2012). La visión compartimentada ha sido discutida en los estudios referidos a las dificultades conceptuales del equilibrio químico (Bergquist y Heikkinen, 1990; Gussarsky y Gorodetsky, 1986 y Rocha, 2000). Estos investigadores explican que la visión compartimentada del equilibrio químico consiste en la producción de dos reacciones, directa e inversa, en forma pendular (interpretación pendular del equilibrio), dos estados en que el equilibrio va y viene como si fuera una balanza, es decir hasta que no se completa la reacción directa no comienza la inversa (Rocha y col., 2000; Jonhstone, Mac Donald y Webb, 1977).

En la tabla 3, se pueden ver ejemplos de las ideas existentes en los estudiantes informantes, en donde emerge la zona compartimentada.

Tabla 3. Zona "Compartimentada" en los estudiantes informantes de la prueba piloto

ZONA	EXPRESIONES
COMPARTIMENTADA	"Igualdad en los dos lados"
	"existe un equilibrio de masa de los dos lados de la ecuación"
	"No, Pues para que fuese equilibrio químico debería estar representado por una ecuación química de recta doble y de hecho que esta representa en un sentido general como una balanza"
	"No, Pues para que fuese equilibrio químico debería estar representado por una ecuación química de recta doble y de hecho que esta representa en un sentido general como una balanza"
	"Que ambos lados de la ecuación tenga la misma cantidad de átomos, iones y moléculas"
	"Alcanzará de nuevo el equilibrio desplazando a la izquierda"

Fuente: Información obtenida en la investigación

Equilibrio Químico

Esta categoría de "equilibrio químico" tiene su fundamento en su desarrollo histórico como concepto, cuando Berthollet basado en la idea de afinidad (Alemañ, 2012) 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 (Rocha y col, 2000). El mismo Berthollet es quien concibe la idea de la reversibilidad, cuando en un lago salado advierte grandes cantidades de carbonato de sodio, resultado de la reacción de desplazamiento entre el cloruro sódico y el carbonato cálcico. Berthollet conocía muy bien la reacción inversa llevada a cabo en su laboratorio:

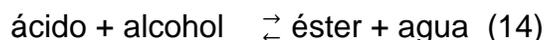


Por ello concibió que existieran reacciones verificables en ambos sentidos y que la presencia en el caso concreto de la gran cantidad de sal presente revertía el sen-

tido de la reacción. La concentración relativa de las especies químicas influían en el sentido y rapidez de una reacción (Alemañ, 2012).

Con los trabajos de Wilhelmy en 1850, se comprobó que en una cierta reacción química la cantidad de azúcar transformada en cada unidad de tiempo era proporcional a la cantidad total de azúcar presente (Ladenburg, 1911).

Guldberg y Waage en 1867 (Alemañ, 2012) tomando como modelo la reacción reversible:



demonstraron la igualdad en las afinidades que ocurrían en las reacciones directa e inversa en un solo ambiente y tomando en cuenta los estequiométricos de cada especie, dedujeron matemáticamente la expresión de la constante de equilibrio, igualando las ecuaciones de afinidad de las reacciones directa e inversa (Alemañ, 2012.). Hay que considerar que, el planteamiento Guldberg y Waage fue básicamente dinámico cuando tomaron en cuenta la cinética de las reacciones.

Tal como lo señala Alemañ, Op cit., que aunque fue Gibbs quien proporcionó la expresión correcta para la constante de equilibrio:

$$K_{eq} = e^{\frac{-\Delta G}{RT}} \quad (4)$$

el químico holandés Van't Hoff llegó a conclusiones similares, pero que se les reconoció a Guldberg y Waage la prioridad sobre el descubrimiento.

De tal manera que las principales características de esta categoría es la reversibilidad, igualdad en las velocidades de las reacciones directa e inversa, la visión no compartimentada del equilibrio y términos como simultaneidad. Para ejemplificar la presencia de esta zona, en la tabla 4, se señalan algunas expresiones encontradas en las respuestas de los estudiantes al cuestionario empleado.

Tabla 4. Zona "Equilibrio químico" en los estudiantes informantes de la prueba piloto

ZONA	EXPRESIONES
	"Para que ocurra equilibrio químico la

EQUILIBRIO QUÍMICO	reacción debe ser reversible y las velocidades de las reacciones (directas e inversa) deben ser iguales”
	“la reacción será reversible”
	“El reactivo vira a producto y el producto de la reacción retorna a formar reactivo”
	“El sistema como un todo necesita tener todas las especies de las reacción y no separadamente”
	“Conciben el equilibrio como un sistema en el mismo ambiente y dinámico”

Fuente: Información obtenida en la investigación

Estática

Esta categoría encuentra su inspiración en la literatura en Raviolo (2006) y plantea que cuando se alcanza el equilibrio químico las concentraciones no cambian y las reacciones no se siguen produciendo. El equilibrio se percibe sin cambios, como contemplando las especies químicas sin movimiento y sin interacción en una supuesta estabilidad. Es posible que esta idea de estática del equilibrio químico, sea aprendida en los cursos de Física, seguramente por ser más fáciles de relacionar con situaciones de la vida cotidiana (Moncaleano, Furió, Hernández, y Calatayud, 2003).

Se puede observar en la tabla 5, algunas expresiones relacionadas con la presencia de esta zona, como una de las formas que tienen los estudiantes informantes de conceptualizar el equilibrio químico.

Le Chatelier

Esta categoría se basa en la idea de usar el principio de Le Chatelier (Alemañ, 2012; Quílez, 1998; Quílez, 1995; Quílez y Solaz, 1995a) para describir la evolución de un sistema en equilibrio químico cuando es perturbado, al introducir cambios en las condiciones tanto del medio como en las especies que intervienen en el equilibrio.

Tabla 5. Zona "Estática" en los estudiantes informantes

ZONA	EXPRESIONES
ESTÁTICA	"El equilibrio significa estabilidad constancia de algo o lo que es lo mismo inalterado"
	"El sistema que permanece en las mismas condiciones cuando sufre perturbaciones externas"
	"Es una situación estable y no hay cambios drásticos que puedan alterar esa estabilidad"
	"Es un estado de compensación para mantenerlo estable"
	"No existe representación de movimiento de las moléculas"
	"que no ocurra ningún disturbio en el sistema para que sea alcanzado"

Fuente: Información obtenida en la investigación

Tal como lo señala Alemañ, (2012), la idea de Le Chatelier tienen su origen a partir de la reciprocidad que se le atribuía a los fenómenos electromagnéticos y mecánicos siendo Van 't Hoff quien anunció la ley de desplazamiento de los equilibrios químicos o principio de los equilibrios móviles, según la cual un equilibrio se desplaza ante una reducción de temperatura hacia un estado en el que genere calor. Le Chatelier propone generalizar este enunciado de Van 't Hoff ampliando su alcance a otros factores además de la temperatura, y elevándolo a ley fundamental para todos los equilibrios químicos.

Quílez, (1995) en su trabajo sobre el desarrollo histórico del principio de Le Chatelier señala que, con los aportes de criterios termodinámicos de Gibbs, se hizo evidente la vaguedad de su expresión que lo hacía ambiguo, sólo cualitativo, ajeno a las particularidades de los equilibrios heterogéneos y los reactivos limitantes, e incapaz de un efectivo control de variables.

Esta categoría tiene su inspiración en la literatura cuando Raviolo (2006) plantea la idea de un equilibrio perturbado, cuando afirma que un sistema con una

constante de equilibrio alta, es porque el sistema está perturbado y desplazado hacia los productos de acuerdo al principio de Le Chatelier.

El uso del principio como regla universal e infalible ha sido estudiado por algunos investigadores (Quílez, 1997a, 1997b; Quílez, 1998; Quílez, 2002; Quílez y Sanjosé, 1995; Quílez y Solaz, 1995b) encontrándose lo que ellos denominan “errores conceptuales” con la aplicación de la regla de Le Chatelier a sistemas heterogéneos y al control de variables para predecir en forma correcta el desplazamiento de un sistema hacia el equilibrio. En la tabla 6, se encuentran algunas respuestas dadas por los estudiantes informantes, que se relacionan con la presencia de esta zona.

Se han definido las zonas que caracterizan al perfil conceptual del equilibrio químico, presentes en las respuestas dadas al instrumento validado (cuestionario), bajo un juego dialógico a la luz del desarrollo histórico y del estudio de las ideas y errores conceptuales sobre el concepto de equilibrio químico, vinculando los dominios histórico social, ontogenético y microgenético de Vygotsky (Wertsch, 1988) éste último alcanzado en las respuestas de los estudiantes al cuestionario.

Tabla 6. Zona "Le Chatelier" en los estudiantes informantes de la prueba piloto

ZONA	EXPRESIONES
Le CHATELIER	“Pues en el ecológico todos los seres vivos e inanimados están interrelacionados como una reacción en equilibrio si alteramos cualquier factor del medio irá a reaccionar debido a la perturbación”
	“El equilibrio químico se aproxima más al ecológico y social porque tanto en la sociedad y en un ecosistema, cuando ocurre una perturbación (algo que altera al ciclo común) el sistema ha de formar para revertir lo que fue alterado para retornar al equilibrio”
	“El equilibrio se desplaza en el sentido de producir NH_4Br ”
	“El equilibrio se desplaza en el sentido de producir NH_4Br ”

	<p>“Ocurre un desplazamiento a la izquierda para que haya una mayor formación de $\text{NH}_4\text{Br}(s)$ para retornar al equilibrio”</p>
	<p>“Aumentando la cantidad de NH_3 hace desplazar la reacción para el sentido inverso para consumir el exceso y adquirir de nuevo el equilibrio”</p>

Fuente: Información obtenida en la investigación

Luego de definir las zonas del perfil, se aplicó el cuestionario a tres grupos de estudiantes participantes de la licenciatura de Educación en ciencias físico naturales y a un grupo de profesores graduados en la misma licenciatura, y se procedió a levantar el perfil de cada grupo, para lo cual se utilizó la técnica de inducción analítica (Taylor y Bogdan, 2000) para agrupar las diferentes ideas y concepciones presentes, en las categorías o zonas levantadas previamente en la prueba piloto. Se analizaron estas concepciones e ideas que tienen los estudiantes participantes en las diferentes zonas del perfil del equilibrio químico y sus posibles implicaciones en el proceso de aprendizaje de dicho concepto, al tomar en cuenta que serán futuros docentes en ciencias naturales.

Procedimiento realizado

1. Se estableció comunicación con los cursos de estudiantes en los semestres descritos, para consensuar su participación en la investigación y solicitar los permisos de rigor a los profesores de dichos cursos para aplicar el cuestionario en las distintas aulas de clases. Luego se contactaron los profesores graduados en la Licenciatura en las instituciones donde laboran como docentes.
2. Se aplicó el cuestionario a los grupos de estudiantes y profesores graduados participantes
3. Se evaluaron las respuestas de cada grupo y de acuerdo a su naturaleza y características, se agruparon en las categorías establecidas a partir de la prueba piloto, para el levantamiento del perfil conceptual de cada grupo.

4. Se analizaron los perfiles de los estudiantes de cada grupo y de los profesores graduados, para estudiar las posibles vinculaciones con el proceso de aprendizaje y construcción del concepto de equilibrio químico.

5. Se analizó la evolución de los perfiles entre los grupos participantes y poder establecer alguna referencia de dicho perfil en la carrera de Educación mención ciencias físico-naturales

Una vez que se le aplicó el cuestionario a cada grupo de estudiantes o informantes, se procedió al análisis y discusión de los resultados a la luz de las teorías que sustentan esta investigación de tesis doctoral, tomando como guía las interrogantes que surgen desde el planteamiento del problema, con la finalidad de lograr los objetivos propuestos.

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Este capítulo tiene como objetivo dar a conocer los resultados, su análisis y discusión, de acuerdo a los objetivos planteados en el trabajo de investigación de tesis doctoral.

De acuerdo con la metodología planteada, se procedió a aplicar los instrumentos de recolección de la información diseñados y validados para tal fin. El cuestionario, por ejemplo, fue diseñado para generar la mayor cantidad de ideas relacionadas con las formas de ver y conceptualizar el equilibrio químico, por parte de los estudiantes de la licenciatura en Educación en ciencias físico naturales y de un grupo de profesores graduados en la misma licenciatura.

Con respecto a los grupos de estudiantes, se escogieron de forma intencional tres grupos: el grupo 1 integrado por estudiantes del primer y segundo semestre, el grupo 2 integrado por estudiantes del quinto semestre y el grupo 3 integrado por estudiantes del octavo, noveno y décimo semestre. A estos grupos se les aplicó el cuestionario para estudiar el surgimiento de las categorías que podrían formar las zonas del perfil conceptual del equilibrio químico a través de la técnica de inducción analítica (Taylor y Bogdan, 2000) y hacer los análisis correspondientes y en consonancia con los objetivos de investigación.

En cuanto al grupo de profesores graduados en la licenciatura se les aplicó el cuestionario y también una entrevista, esta última diseñada para estudiar el surgimiento de algunas zonas del perfil y la toma de conciencia del perfil, que consistió en cómo aplican estos profesores sus ideas vistas desde el perfil conceptual a situaciones en distintos contextos.

Finalmente se hace la presentación de los perfiles conceptuales de cada grupo acompañados de sus respectivas repercusiones en el aprendizaje y la enseñanza del concepto de equilibrio químico.

Identificación de las categorías que conforman el perfil conceptual del equilibrio químico y su relación con el aprendizaje en los estudiantes y graduados de educación en Ciencias Físico Naturales.

De acuerdo al planteamiento metodológico para la búsqueda de la información requerida en esta investigación, se procedió a la aplicación del cuestionario validado para evaluar la presencia de las categorías que conforman las zonas del perfil conceptual del equilibrio químico, en los grupos de estudiantes y graduados de la licenciatura en Educación de la mención Ciencia Físico Naturales. Estas categorías son las que forman las zonas del perfil conceptual y fueron definidas en la prueba piloto en un juego dialógico entre los dominios: socio cultural, ontogenético y microgenético (Wertsch, 1988), con el objetivo de comprender de la forma más completa posible, la génesis del concepto de equilibrio químico. Es de aclarar que en algunas expresiones, se pueden encontrar varias categorías en la misma respuesta. Este factor es importante, ya que más adelante cuando se presenten los perfiles de cada grupo de participantes, la extensión de cada zona del perfil (EZP) será de acuerdo a la frecuencia con que aparezcan las categorías expresadas en porcentajes.

A continuación en la tabla 7, se describen las respuestas del grupo 1 (estudiantes del primer y segundo semestre) y se procedió al análisis respectivo.

Tabla 7. Respuestas del grupo 1 a la pregunta 1. Describa qué significa para usted la palabra "Equilibrio"

"Es una igualdad en ambos lados de la formula, es decir, que debe haber la misma cantidad de la molécula a ambos lados"
"Lo defino como manera de llevar un hecho o acontecimiento con sentido igualitario y en completa igualdad"
"Equilibrio significa estabilidad o una igualdad que es necesaria para una estabilidad ya sea en lo social, político, ambiental, etc."
"Igualdad de átomos iones y moléculas"
"Es cuando dos masas tienen el mismo peso"
"Todas las reacciones químicas buscan una estabilidad, (un equilibrio), para así llegar a una reacción normal".
"La palabra equilibrio significa poner en dos lados diferentes elementos para mantenerse estable".
"Es cuando tiene un peso balanceado de ambos lados"
"Es un balance de algo que trata de mantener y que sean iguales"
"Equilibrio se debe a un balance que ambos extremos deben ser igual para que

se produzca el equilibrio evitando la caída de uno de los dos extremos”.

Fuente: Información obtenida en la investigación

En las respuestas referidas en la tabla 7, pareciera que el grupo 1 de participantes relaciona la palabra “equilibrio” con la aparición de la categoría de “igualdad”, ya que en las expresiones indican la igualdad de cantidad de masa o peso o misma cantidad de átomos, iones y moléculas. También ésta “igualdad” probablemente se refiere a las condiciones de cómo se llevan a cabo ciertos procesos. Se puede observar en las expresiones descritas en la tabla 7, que posiblemente se establece una relación entre la palabra “Equilibrio” con “Estabilidad”, parece que se debe dar una igualdad para lograr el equilibrio o la estabilidad política, social o ambiental. En algunas de estas respuestas, se encuentra el término “balance” relacionado con “igualdad”, por lo que pudiera emerger la categoría o zona “estequiométrica”.

Llama la atención que en las expresiones donde aparecen los términos: balances, estabilidad, igualdad o misma cantidad; se hace referencia a la existencia de “dos lados” o “ambos lados” lo que puede tener relación con visiones compartimentadas del equilibrio químico admitiendo que los reactivos iniciales y los productos finales existen en compartimientos separados (Rocha y col., 2000) reforzando de esta manera, la aparición de la categoría compartimentada del equilibrio químico. Por otro lado, el término “estabilidad” presente en las respuestas de este grupo de participantes como manera de conceptualizar a la palabra “equilibrio”, guarda relación con el equilibrio químico, ya que dicha “estabilidad” la logra el sistema, cuando la energía libre (ΔG) es cero en condiciones de presión y temperatura constante y es donde las concentraciones de cada una de las especies químicas presentes se mantienen constantes en el tiempo (Levine, 1999; Olivares y otros 1992).

Otras expresiones de este grupo de participantes, donde se evidenció la categoría “igualdad” como forma de conceptualizar el “equilibrio”, es aquella donde el equilibrio se toma como un signo usado en ecuaciones y expresiones matemáticas tal como lo demuestran las siguientes expresiones:

“Es la palabra que usamos para calcular dicho resultado de matemática y física, o química según el enunciado”.

“Es una igualdad en ambos lados de la formula...”

Es importante señalar que se encontraron respuestas donde estos participantes relacionan la noción general de equilibrio con la categoría equilibrio químico, en expresiones como:

“Es un proceso químico, el equilibrio químico es el estado en el que las actividades químicas o las concentraciones de reactivos y productos no tienen cambio”.

Se puede notar la presencia de una categoría de “equilibrio químico” cuando hace mención que las concentraciones de las especies de reactivos y productos no cambian (Olivares y otros, 1992)

También se observa cierta visión micro de equilibrio al mencionar el término: “actividades químicas” propio del mundo micro al cual pertenece el concepto de equilibrio químico.

Las categorías que han aparecido hasta el momento en este grupo de participantes, probablemente tengan algún fundamento en los principios generados del equilibrio mecánico tomando en cuenta elementos de simetría (igualdad de pesos y distancias, momento estático) en base a los planteamientos arquimedianos de la cultura helénica (Alemañ, 2012). También es importante aclarar que algunas de las conceptualizaciones sobre el “equilibrio” no guardan relación con el desarrollo histórico del concepto de equilibrio químico, tal como afirman Raviolo, Baugartner, Lastres y Torres (2001) cuando plantean que los estudiantes no tienen ideas espontáneas sobre el concepto de equilibrio químico antes de ser presentado este tema en el aula. Por lo tanto, algunas ideas que se presentan en este grupo de estudiantes, relacionadas a términos como: igualdad, balances, estabilidad, probablemente tenga que ver con algunas experiencia de vida y de conceptos en competición de otras áreas del saber en una ecología conceptual como un todo (Bello, 2004; Mortimer 2000), la cual es capaz de redefinir la nueva idea para integrarla a la estructura conceptual global de un individuo.

Tal como lo afirman Raviolo y Martinez (2005), es frecuente encontrar en la enseñanza de las ciencias palabras que se usan con distintos significados en el

lenguaje cotidiano y en el lenguaje científico. Por ejemplo en afirmaciones sobre el equilibrio químico contienen términos usados en la vida cotidiana como: “cambio”, “igualdad”, “perturbación” y “balance”, que pueden generar diferentes imágenes visuales en los sujetos según las experiencias personales de vida de cada uno. De aquí surge el planteamiento de una actividad consciente entre el uso técnico de ciertas palabras en ciencias y el uso cotidiano de esos términos que reduciría el surgimiento de ideas o concepciones erróneas sobre el equilibrio químico y favorecería el aprendizaje o la formación de concepciones en las zonas científicas del perfil de dicho concepto.

El segundo planteamiento del cuestionario, es inspirado en los estudios realizados por Raviolo (2006). Afirma el autor, que el profesor cuando habla de equilibrio químico, señala distintas partes de la ecuación química escrita en el pizarrón sobre la síntesis del amoníaco, empleando frases del tipo “la reacción se desplaza hacia la derecha” y los alumnos imaginan situaciones que difieren totalmente de las ideas a las que apunta la enseñanza. Se imaginan, por ejemplo, una “balanza estequiométrica” en la que se logra el equilibrio cuando en uno de los platillos hay un mol de nitrógeno y tres de hidrógeno y en el otro platillo, hay dos moles de amoníaco.

En la tabla 8, se encuentran algunas de las respuestas dadas por el grupo 1 a la segunda pregunta del cuestionario.

Al hacer referencia del metalenguaje propio de la ciencia Química, la figura utilizada en esta segunda cuestión, no es una representación del equilibrio químico, ya que no hay indicativo de una reacción química reversible, condición necesaria para el establecimiento del equilibrio químico.

Tabla 8. Respuestas del grupo 1 a la pregunta 2. Planteamiento sobre la imagen de la balanza estequiométrica de la obtención del amoníaco (ver cuestionario en Anexo 1)

“A ambos lados de la ecuación o de la molécula hay cantidades iguales es decir, 6 hidrógenos 2 nitrógenos”
“Si porque las dos fórmulas tienen igual número de moléculas”
“Porque se muestra que de ambos lados son del mismo peso”
“Porque los dos se mantienen del mismo nivel, es decir, que tienen la misma cantidad de peso”

“Si porque están totalmente balanceados”
“Se equilibran los compuestos con la interacción de valencias”
“Si, porque ambos se relacionan y tienen el mismo balance químico por tal motivo existe equilibrio”

Fuente: Información obtenida en la investigación

En las respuestas vistas en la tabla 8, **emerge la categoría de “igualdad”** con afirmaciones como: “cantidades iguales”, “igual número de moléculas”, “ambos lados son del mismo peso”, “tienen la misma cantidad de peso”, es decir, hay una marcada tendencia hacia ideas y concepciones realizadas con el equilibrio de la balanza estudiado por Arquímedes. (Alemañ, 2012). La concepción de que el equilibrio se logra cuando la cantidad de reactivos es igual a la cantidad de productos puede estar asociada a concepciones estáticas del equilibrio químico originadas a partir del equilibrio mecánico, logrado por una igualación de fuerzas (Rocha y col., 2000), por lo tanto emerge una categoría “estática” como manera de conceptualizar al equilibrio químico (Raviolo, 2007).

Se puede observar en las expresiones descritas en la tabla 8, **el surgimiento de una categoría “estequiometría”** que se encuentra soportada en trabajos relacionados con el estudio de dificultades conceptuales (Hakling y Garnett, 1985; Quílez, 1997a; 1997b; y Raviolo, 2007). En estos estudios, se evidencia que las maneras de conceptualizar el equilibrio químico reunidas en la categoría “estequiométrica”, se deben al reiterado uso de estrategias didácticas erradas en la química, cuando el profesor hace énfasis en el uso del balanceo de la ecuación para realizar cálculos estequiométricos, reactivo limitante, reactivo en exceso y cálculo de concentraciones en el equilibrio, lo que hace que la idea estequiométrica tenga cierto arraigo en las maneras de conceptualizar el equilibrio químico entre los estudiantes que tienen cierta formación curricular en cursos de Química universitaria.

En las respuestas descritas en las tablas 7 y 8, se puede notar el surgimiento de la **categoría compartimentada del equilibrio químico**, que puede tener su origen desde los planteamientos arquimedianos del sistema, “balanza” que crea

una imagen donde ambos brazos de la balanza se dividen en dos subsistemas (Alemañ, 2012).

En la tabla 9, se pueden observar las respuestas del grupo 1, donde se evidencia la presencia de la categoría “Compartimentada”

Tabla 9. Presencia de la categoría "Compartimentada" en el grupo 1

“El equilibrio se mantiene en un punto determinado, donde no varía de un lado al otro”
“No porque no posee la misma cantidad de moléculas en ambos lados”
“La palabra equilibrio significa poner en dos lados diferentes elementos para mantenerse estable”

Fuente: Información obtenida en la investigación

En estas expresiones se puede notar la referencia que se hace a que las especies que intervienen en la situación de equilibrio están en compartimentos separados. También se puede notar que pueden emerger una, dos o más categorías según la complejidad de los términos usados para conceptualizar el equilibrio químico. Por ejemplo en expresiones como:

“El equilibrio se mantiene en un punto determinado donde no varía de un lado al otro”

“la palabra equilibrio significa poner en dos lados diferentes elementos para mantenerse estable”,

parecieran relacionarse con la aparición de una categoría “estática”, donde el equilibrio se percibe sin cambios, como si las especies químicas carecieran de movimiento y sin interacción en una supuesta estabilidad, pero a la vez se nota la concepción compartimentada del equilibrio químico (Raviolo, 2006). Es posible que la idea estática del equilibrio químico, sea aprendida en los cursos de Física, ya que los conceptos que se construyen en esta ciencia son más fáciles de relacionar con situaciones de la vida cotidiana (Moncaleano, Furió, Hernández y Calatayud, 2003; Colvalada, Moreira y Caballero, 2005).

El cuestionario demostró la gran capacidad que tuvo como instrumento para la captura de las de las distintas concepciones, ya que una categoría o zona del perfil podía aparecer en alguna respuesta a cualquier pregunta, como es el caso

de la categoría “estática” que emerge no solo en las respuestas a la pregunta 1, sino que también aparece en las respuestas a la pregunta 8, cuando se le presenta la ecuación de obtención del ácido iodhídrico y se dan varios modelos gráficos para que escojan cuál representa la situación de equilibrio planteada (Ver Cuestionario en Anexo 1). En este sentido, uno de los estudiantes escoge la opción a) y justifica su respuesta en la 9 de la manera siguiente:

“Las demás situaciones no son adecuadas para describir el equilibrio químico planteado porque están en forma de movimiento y tienen más moléculas que no concuerda con la reacción”

Se puede notar en esta expresión la negación del aspecto dinámico del equilibrio químico va acompañado con la dificultad relacionada con el nivel de representación micro, al no admitir que existen cantidades de moles en el orden del número de Avogadro que pueden entrar en una relación dinámica de rompimiento y formación de enlaces que implica necesariamente que las especies que se descomponen y se forman lo hacen a la misma velocidad.

Otra expresión que concuerda con la opción a) de la pregunta 8 es la siguiente:

“porque es la que mejor representa la fórmula planteada”

Al parecer la representación a través de la reacción química, la toma el estudiante como el modelo del sistema en equilibrio sin tener en cuenta la cantidad de átomos y moléculas a nivel micro que pueden interactuar en una situación de equilibrio químico.

En este grupo de participantes también emerge la **categoría “Le Chatelier”** destacada en la siguiente expresión:

“La reacción se desplaza hacia la formación de NH_4Br para compensar la cantidad colocada de NH_3 ”

Se puede notar que, el estudiante admite en este caso que el equilibrio se desplaza hacia donde se consuma el exceso de NH_3 formando el NH_4Br .

Es importante resaltar que un solo participante de este grupo, se acerca a una visión dinámica del equilibrio químico cuando justifica la escogencia de la opción D de la pregunta 8 de la siguiente manera: “... a mi parecer es porque los

átomos se mueven y dan esas reacciones”, sin embargo, términos como: reversibilidad, igual en las velocidades de la reacción directa con la inversa, términos que definen la zona equilibrio químico, no aparecen. Se puede afirmar que, este primer grupo de estudiantes participantes, tiene muy poco formada la zona “equilibrio químico” formada dentro de su perfil, y que tienen que construirla, en el transcurrir de la carrera con la influencia de los cursos tanto de química universitaria como de algunos cursos de biología universitaria donde se desarrolle la temática del equilibrio químico, en función de la comprensión de su naturaleza abstracta y de su alta demanda conceptual dentro de la propia ciencia química.

De forma general, el perfil conceptual del equilibrio químico de este primer grupo de estudiantes, se caracteriza por la presencia de las zonas de igualdad, estática, estequiométrica, compartimentada, Le Chatelier (muy escasa). De estas zonas la que se notó con mayor intensidad en las expresiones de este grupo de estudiantes fue la de igualdad, compartimentada y estática; y tienen poca presencia de zonas racionales tales como: Le Chatelier y equilibrio químico, debido a que es un grupo que tiene una escasa formación en el tema, en la química de bachillerato y por lo tanto requiere que el proceso de aprendizaje incluya el cambio y/o la activación de estrategias cognitivas y metacognitivas de procesamiento profundo de control y monitoreo de su aprendizaje (Campanario, 2000; Maturano, Solivares y Macías, 2002; Martínez, 2007; López, Marquez y Vera, 2008) que les permita a estos estudiantes desarrollar el nivel de abstracción que requiere la construcción de zonas racionales del perfil conceptual del equilibrio químico.

El grupo 2 de participantes, son estudiantes cursantes del quinto semestre de la licenciatura en educación, y ya han aprobado al menos dos cursos de química universitaria. Tomando en cuenta las respuestas que da este grupo de participantes, a las preguntas: 1. Describa que significa para usted la palabra “Equilibrio” y a la pregunta 2, referida a la interpretación de la imagen de la “balanza estequiométrica” (Ver cuestionario en Anexo1), se puede afirmar que emerge **la categoría “igualdad”** cuestión que se evidencia en la expresiones que se describen en la tabla 10.

En este grupo de estudiantes al parecer; el equilibrio es conceptualizado como una igualdad de concentración, proporciones, temperaturas; átomos y moléculas, reactivos y productos; en estos últimos términos se relaciona la noción de “igualdad” a una reacción química, en estos últimos términos se relaciona la noción de “igualdad” a una reacción química, de reactivos y productos, pero no se evidencia

Tabla 10. Expresiones en donde se evidencia la categoría "Igualdad" en el grupo 2

“Igual proporción de algo, sustancia o elemento en un momento dado en tiempo y espacio”(1)
“Porque de ambos lados de la balanza, existe igual cantidad de moléculas de los elementos implicados”
“El equilibrio en este caso, “equilibrio químico” es donde la concentración de reactivo y producto se encuentran en la misma proporción”
“Que se cumpla con igualdad en el sistema. Que tanto en temperaturas como en reacciones halla una igualdad entre la $T_1=T_2$; reactivos=productos.”

Fuente: Información obtenida en la investigación

la igualdad en las velocidades de rompimiento y formación de enlaces en los reaccionantes y productos en condiciones de reversibilidad y simultaneidad.

Es probable que el surgimiento de esta zona de “igualdad” tenga su origen en la similitud estructural entre la ley del equilibrio químico, en el enunciado de Guldberg y Waage, y el equilibrio de la balanza estudiado por Arquímedes (Alemañ, 2012). A esto último se llegaba por la igualdad entre dos condiciones formadas por el producto de una característica propia del sistema material (las longitudes d_1 y d_2 de los brazos de la balanza) y una acción externa (los pesos aplicados en cada uno de ellos), de modo que $d_1 f_1 = d_2 f_2$. En el planteamiento de Gulberg y Waage se cumple una relación de una propiedad del sistema (los coeficientes de afinidad K_1 y K_2) y una variable externa (las concentraciones de las especies químicas presentes), de donde $K_1[A][B] = K_2[A'] [B']$.

Covaleda, Moreida y Caballero (2005) en un estudio sobre el aprendizaje de la mecánica en estudiantes universitarios, reportaron la aparición de la categoría “igualdad” donde los estudiantes la relacionaban con conceptos de la física, cuyo aprendizaje se facilita por la utilización de modelos analógicos relacionados con la

vida cotidiana que no necesitan un alto nivel de abstracción tal como lo requiere la construcción del concepto de equilibrio químico.

La categoría “estática” emerge en este grupo de estudiantes en las expresiones descritas en la tabla 11.

Tabla 11. Presencia de la categoría "Estática" en el grupo 2 de estudiantes participantes

“Equilibrio para mi es lograr la estabilidad de lo que se desea basándose en llegar a un estado de confort (estabilidad)”
“Equilibrio es un estado donde no hay variaciones en un sistema, tanto interna como externamente”
“Equilibrio es un término referente a la condición física de cualquier elemento u objeto que se mantenga estable”.
“La palabra equilibrio se refiere a un estado de igualdad en donde las partes involucradas están estables y sin ningún cambio aparente”

Fuente: Información obtenida en la investigación

En la última expresión de la tabla 11, se puede apreciar la presencia de **dos categorías: igualdad y estática**. Es decir, que de una sola expresión puede que emerjan dos conceptualizaciones o zonas del perfil conceptual, tal como se describió al principio de este capítulo. La noción de estabilidad está ligada al equilibrio químico, de manera que este es percibido sin cambios, como contemplando las especies químicas sin movimiento y sin interacción. Es posible que esta noción estática del equilibrio sea influida en los cursos de Física por la facilidad de usar modelos y ejemplos ligados a nuestro mundo cotidiano (Moncaleano, Furió, Hernández y Calatayud, 2003).

Sin embargo la idea de “estabilidad” no necesariamente pudiera estar ligada a la presencia de una zona del perfil “estática” ya un estudiante de este grupo, consideró al equilibrio como equivalente al término “homeostasis” lo que significa estar en la presencia de alguna visión dinámica del equilibrio ya que para un organismo vivo, representa, mantener su condición estable, al compensar los cambios de su entorno mediante el intercambio regulado de materia y energía con el exterior (Guyton y Hall, 2006).

La categoría “compartimentada” del equilibrio químico, aparece en este grupo de estudiantes en las expresiones descritas en la tabla 12. Estas expresio-

nes surgieron al dar respuesta a las preguntas: 2) referida a la interpretación de la imagen de la “balanza estequiométrica” 4) relacionada con las condiciones para que átomos, iones y moléculas en una reacción química estén en equilibrio químico y 8) referida a la escogencia del modelo que representa la ecuación química para la obtención del ácido iodhídrico (Ver cuestionario en Anexo 1).

Tabla 12. Presencia de la categoría "Compartimentada" en el grupo 2 de estudiantes participantes

“Que todo está nivelado o igual en ambos lados”
“Equilibrio es mantener de un lado, lo mismo que en el otro”
“Es cuando 2 sustancias se encuentran en iguales cantidades. Es decir, hay lo mismo de un lado que del otro...”

Fuente: Información obtenida en la investigación

Se puede notar en estas expresiones, que este grupo de estudiantes consideran que en la situación de equilibrio químico, los reactivos y los productos se encuentran en compartimentos separados y no en un solo sistema cerrado, cuando se asocian términos “de un lado y del otro lado” o “ambos lados”. Esta visión compartimentada de equilibrio, pudiera tener su origen en ideas concebidas en el desarrollo histórico del concepto de equilibrio químico, desde el planteamiento arquimediano del sistema “balanza” que crea una imagen donde ambos brazos de la balanza se dividen en dos subsistemas (Raviolo, 2006; Alemañ, 2012). Algunos estudiantes de este grupo, en la pregunta 8 escogen situaciones como la opción d) para representar la situación de equilibrio planteada. En esta ocasión toman en cuenta el aspecto dinámico del equilibrio pero con una visión compartimentada, al igual que la opción e que también es compartimentada pero combinada con la visión estática del equilibrio químico.

La categoría “estequiométrica” emerge en este grupo, como una zona del perfil conceptual del equilibrio, cuando los estudiantes hacen algunos planteamientos en las respuestas al cuestionario tales como las descritas a continuación en la tabla 13. **Tabla 13. Presencia de la categoría "Estequiométrica" en el grupo 2 de estudiantes participantes**

“Que la cantidad de átomos y moléculas sea la misma para la reacción; es decir, que la ecuación este balanceada”
--

“La ecuación esta balanceada”
“Sí, ya que en ambos lados encontramos 2 moléculas de nitrógeno y 6 molécula de hidrogeno”
“Para que una reacción se encuentre en equilibrio químico debe tener la misma cantidad de átomos, iones y moléculas a ambos lados de la reacción, es decir tanto los reactivos como los productos...”

Fuente: Información obtenida en la investigación

En estas expresiones, los estudiantes de este grupo reflejan la idea de que el equilibrio químico se establece por el balanceo de la ecuación química y no cuando se igualan las velocidades de rompimiento y formación de enlaces tanto en los reactivos como en los productos. Esta zona del perfil aparece en este grupo de estudiantes con cierta regularidad, probablemente debido a la influencia de las asignaturas de química universitaria cursadas hasta el quinto semestre de la carrera de Educación en Ciencias Físico-Naturales. Más allá de planteamientos didácticos incorrectos para realizar cálculos estequiométricos, reactivo limitante, reactivo en exceso y cálculos de concentraciones en el equilibrio (Hackling y Garnett, 1985; Quílez, 1997a 1997b y Raviolo, 2007), es la propia visión filosófica que tenga el docente al plantearse ciertos objetivos de aprendizaje cuando desarrolla un programa de asignatura, lo que puede influir en que la idea “estequiometrica” esté presente en la estructura conceptual de este grupo de estudiantes. Esta idea podría estar reforzada por el abordaje que se hace de este tema desde los libros textos de Química General universitaria, cuando no se establece relación con aspectos dinámicos y de reversibilidad, tomando en cuenta la Teoría de las colisiones, el rompimiento y formación de enlaces, la energía de activación y el uso de catalizadores en su función de acelerar o retardar algunas reacciones químicas. El uso de la constante de equilibrio en los cálculos de concentraciones en el equilibrio, se hace de manera poco consciente cuando se desconoce el origen dinámico de dicha expresión.

La **categoría o zona “equilibrio químico”** aparece en este grupo en las afirmaciones descritas en la tabla 14.

Tabla 14. Presencia de la categoría "Equilibrio químico" en el grupo 2 de estudiantes participantes

“.. Si ocurren cambios, en uno de los lados, este debe ocurrir en un sentido contrario”

“La velocidades en las reacciones directa o inversa se igualan”
“La reacción química de transformación debe ocurrir al mismo ritmo que la transformación inversa”
“Si la situación es de equilibrio, la velocidad de la reacción directa (V_1) es igual, a la velocidad de la reacción indirecta (V_2)”.
“Además que el producto final se puede disociar en los reactivos”

Fuente: Información obtenida en la investigación

En la primera expresión, aunque no se hace referencia a las velocidades de las reacciones directa e inversa, si parece haber una identificación de la idea de reversibilidad. Las otras expresiones reflejan la igualdad en las reacciones directa e inversa. En estas conceptualizaciones se reconoce la reversibilidad, la cual es una condición necesaria para el equilibrio químico. Esta condición de reversibilidad fue reconocida por Berthollet cuando advierte la formación de carbonato de sodio, como resultado de la reacción de desplazamiento entre el cloruro sódico y el carbonato cálcico, Berthollet conocía la reacción inversa llevada a cabo en el laboratorio (Alemañ, 2012).

El otro aspecto que define esta zona del perfil, es la igualdad en las velocidades de las reacciones directa e inversa llevadas a cabo en un solo ambiente. En las expresiones encontradas en este grupo de estudiantes, se refleja no solo lo relacionado con la igualdad de las velocidades de las reacciones directa e inversa, sino también con el aspecto de la reversibilidad.

La **zona “Le Chatelier”** emerge para este grupo de participantes al hacer consideraciones sobre cómo responde un sistema en equilibrio químico, a una perturbación determinada para lograr desplazarse de nuevo hacia el equilibrio. Entre las afirmaciones donde se advierte la presencia de esta zona, se encuentran las señaladas en la tabla 15.

Tabla 15. Presencia de la categoría “Le Chatelier” en el grupo 2 de estudiantes participantes

“Al equilibrio ecológico ya que cuando se altera el equilibrio algunos elementos o mecanismos actúan para recuperarlo, tal y como sucede en la naturaleza”
“Al aumentar la cantidad de NH_3 la reacción del lado de los productos debe ocurrir a mayor velocidad para gastar el NH_3 en exceso”
“Al momento de introducir, NH_3 a la reacción, ella al principio estará más despla-

zada a la izquierda para generar NH_4Br , pero llegara el momento donde ya es nuevamente equitativo las masas y la reacción se estabiliza”

“Al introducir 1 mol de NH_3 a la reacción, esta desplazara su equilibrio de derecha a izquierda buscando aumentarla cantidad de reactante para de esta forma lograr el equilibrio en la reacción”.

Fuente: Información obtenida en la investigación

Este grupo de estudiantes introduce en sus respuestas, elementos explicativos del desplazamiento de un sistema que inicialmente se encuentra en equilibrio y al cual se le hace una perturbación. Sin embargo, estas explicaciones no toman en cuenta en qué condiciones experimentales se llevan a cabo dichos desplazamientos hacia el estado de equilibrio.

El uso del principio de Le Chatelier como regla infalible sin tomar en cuenta el control de variables experimentales, ha sido estudiado por algunos investigadores (Quílez, 1997a, 1997b; Quílez, 1998, Quílez, 2002; Quílez y Sanjosé, 1995; Quílez y Solaz, 1995b) al analizar lo que se denomina “errores conceptuales” con las aplicaciones de la regla de Le Chatelier a sistemas heterogéneos y al control de variables para predecir en forma correcta el desplazamiento de un sistema hacia el equilibrio.

El grupo 3 de participantes, estuvo formado por estudiantes cursantes de los semestres octavo, noveno y décimo, es decir, en la etapa final de la escolaridad de la licenciatura en Educación. Al dar respuesta a las preguntas 1, 2 y 4 del cuestionario ya descritas anteriormente (ver cuestionario Anexo 1), en este grupo emerge la zona o categoría de “igualdad”, contenida en las expresiones señaladas en la tabla 16.

Tabla 16. Presencia de la categoría "Igualdad" en el grupo 3 de participantes

“Para mí, se refiere a un estado de igualdad, de estabilidad dentro de cualquier sistema, grupo, realidad”

“Porque los elementos o reactantes que participan en la reacción se encuentran en la misma cantidad en el producto”

“Si muestra un equilibrio, ya que existe la misma cantidad en los reactantes y el producto si puede verse de esta manera”

“Si existe la misma cantidad de reactantes en relación a la cantidad de producto”

Fuente: Información obtenida en la investigación

Es de admitir, que la igualdad que se menciona por ejemplo en la primera expresión, probablemente se refiera a condiciones y oportunidades de vida. Sin embargo, también se puede notar la asociación con el término “estabilidad” ya discutido anteriormente, el cual es relacionado a la aparición de conceptualizaciones estáticas del equilibrio químico. Las demás expresiones se refieren a una igualdad que podría tratarse de masa o de peso, asumiendo la incertidumbre de lo que quieren decir estos estudiantes con el uso del término “cantidad”.

La consideración del equilibrio químico como una “igualdad” entre la cantidad de reactivos y productos podría estar asociada a consideraciones estáticas del equilibrio químico, que pudieran derivarse de una concepción del equilibrio como equilibrio mecánico, logrado por una igualación de fuerzas tal como plantearon en sus propuestas Berthollet en 1801 y Guldberg y Waage en 1864 (Raviolo, 2007).

Al dar respuesta a la pregunta 1 del cuestionario referida a lo que significa la palabra “equilibrio” y a la 8 donde se le plantea a los estudiantes de este grupo, la escogencia del modelo que representa la ecuación de obtención del ácido iodhídrico, se puede notar que emerge la **categoría o zona “Estática”**. En la tabla 17 se describen las expresiones que contienen esta categoría.

Tabla 17. Presencia de la categoría "Estática" en el grupo 3 de participantes

“Equilibrio es el punto donde se logra mantener constante cierta cantidad de sustancia, por ejemplo, para que el cuerpo pueda funcionar en perfectas condiciones es necesario que los niveles de glucosa, pH entre otros, se mantengan a un nivel normal o equilibrio”.

“La palabra equilibrio para mí se relaciona con algo estable, que se puede mantener en un punto apropiado o correcto por ejemplo: una persona que camina sobre una cuerda a unos 30mt de altura”
--

Fuente: Información obtenida en la investigación

En la primera expresión, se pudiera referir a mantener los niveles de glucosa y pH “estables” dentro los valores normales. Esta afirmación, pudiera referirse a aspectos dinámicos del equilibrio, ya que el mantenimiento de los niveles de glucosa y pH, se relaciona con fenómenos homeostáticos (Guyton y Hall, 2006). En esta zona el equilibrio se percibe sin cambios en un aparente estabilidad (Raviolo, 2006).

En la segunda afirmación se evidencia la presencia de ideas relacionadas con “estabilidad” que pudiera reforzar la presencia de una zona “estática” del equilibrio.

Se puede notar la conceptualización del “equilibrio” dentro de un contexto del equilibrio mecánico, al tomar en cuenta elementos de simetría tales como: centro de masa y momento estático; que se originan probablemente en el contacto con experiencias de la vida cotidiana y en los cursos de física y que coinciden con las primeras ideas sobre el equilibrio concebidas dentro de la cultura helénica (Alemañ, 2012).

La zona “compartimentada” emerge cuando los participantes de este grupo le dan respuesta a las preguntas 2 y a la pregunta 8 del cuestionario descritas anteriormente (ver cuestionario en el Anexo1). Estos estudiantes ven a los reactivos y productos en sistemas separados y no en un sistema cerrado donde se encuentran todas las especies iniciales y finales formándose y descomponiéndose a la misma velocidad.

Las expresiones que confirman la presencia de esta zona, se encuentran descritas en la tabla 18.

Tabla 18. Presencia de la categoría o zona "Compartimentada" en el grupo 3

“Para mi sería que los átomos en ambas partes de la reacción se encuentran en la cantidad adecuada, según al sistema que pertenecen”
“Porque al establecer la relación del concepto “masa” entre los dos sistemas I y II se nota un sentido de permanencia y constancia de dicho concepto en el tiempo.
“Se puede presentar un equilibrio en la reacción; ya que hacia ambos lados de la ecuación tenemos la misma cantidad tanto de nitrógeno como de hidrogeno”

Fuente: Información obtenida en la investigación

En la primera expresión se admite el señalamiento “ambas partes” como una separación de los reactivos y los productos. En la segunda expresión la conceptualización “compartimentada” se basa en señalar dos sistemas: I ($N_2 + 3H_2$) y II ($2NH_3$) al dar respuesta a la pregunta 2 del cuestionario.

En la última afirmación de la tabla 18, pareciera emerger una **zona “estequiométrica”** cuando este estudiante hace referencia a tener a ambos lados la misma cantidad de nitrógeno e hidrogeno, es decir, tener balanceada la ecuación

ya que la representación de la “balanza estequiométrica” a la que hace referencia Raviolo (2006), resulta de planteamientos hechos en el aula por el profesor, cuando desarrolla el tema de equilibrio químico, señala las distintas partes de la ecuación cuando representan la reacción de síntesis del amoníaco. Cuando este grupo le da respuesta a la pregunta 8 por ejemplo, surgen otras expresiones que parecen confirmar la presencia de la **categoría o zona “estequiométrica”** las cuales se describen en la tabla 19.

Tabla 19. Presencia de la categoría "Estequiométrica" en el grupo 3

“Si existe la misma cantidad de reactantes en relación a la cantidad de producto. Hay un balance de átomos en cualquiera de los elementos de la ecuación”
“Es un estado en que hay un balance tanto de una cosa como de otra...”
“También significa balance, por ejemplo los mismo que hay de A la hay, o debe haber en B (La misma cantidad)”
“Para que una reacción química este en equilibrio es necesario que la cantidad de átomos que reacciones sea la misma cantidad que se encuentre en el producto...”

Fuente: Información obtenida en la investigación

Como ya se ha explicado anteriormente para los otros grupos de participantes, esta zona está muy presente como forma de conceptualizar el equilibrio químico, ya que esta visión es reforzada en los cursos de Química universitaria, cuando se hace énfasis en: métodos de balanceo de ecuaciones químicas, cálculos estequiométricos y de concentraciones en el equilibrio (Quílez 1997a, 1997b; Raviolo 2007).

La zona “equilibrio químico” surgió en apenas un solo estudiante quien afirmó:

“Que la velocidad a la que reaccionan los reactivos se iguale a la velocidad a lo que se produzca y viceversa. Igual que se descomponen unas moléculas se componen otras. No significa un estado estático sino un cambio en dos sentidos”

En esta afirmación hace mención a elementos que definen esta zona de “equilibrio químico” tales como: igualdad en las velocidades de las reacciones directa e inversa, se nota la presencia de la idea de reversibilidad (Rocha y col., 2000). En esta conceptualización del equilibrio químico, se hace uso del modelo centrado en las velocidades (Raviolo, 2007), donde la velocidad de reacción es

proporcional a las masas activas de las sustancias reaccionantes. En el equilibrio químico, el número de moléculas que se están descomponiendo en un cierto tiempo es igual al número de moléculas que se están formando.

La zona o categoría de “Le Chatelier”, emerge cuando este grupo de participantes le da respuesta a la pregunta 12 del cuestionario, en una situación de un equilibrio perturbado con la presencia de un sólido en la reacción. En la tabla 20 se describen las expresiones que contienen la categoría “Le Chatelier”.

Tabla 20. Presencia de la categoría "Le Chatelier" en el grupo 3

“Al introducir una cantidad de NH_3 , la reacción comienza a moverse \leftarrow en este sentido para generar NH_4Br y de esta forma se logra el equilibrio en toda la reacción”
“La reacción va hacia los reactivos debido a que se está alterando la reacción”
“El equilibrio alcanza el nuevo el nuevo equilibrio reaccionando en dirección hacia los reactantes para disminuir el exceso de NH_3 lográndose así nuevamente el equilibrio”.

Fuente: Información obtenida en la investigación

Sobre este tipo de perturbación, Raviolo (2007) hace algunas consideraciones sobre similitudes entre las ideas que sostienen los alumnos y las relaciones con el desarrollo histórico del concepto de “equilibrio químico”, afirma que, cuando se le hace una perturbación al equilibrio al agregar algún reactivo, algunos estudiantes consideran, por ejemplo, al incremento en la velocidad de la reacción en el sentido opuesto al agregado, para lograr de nuevo la condición de equilibrio.

A partir de la detección de las categorías que conforman las zonas del perfil conceptual del equilibrio químico, se puede comprender que a medida que se avanza a través de los semestres en la carrera de educación en Ciencias Físico Naturales, los participantes muestran cierta formación de ideas que pudieran conformar las zonas más racionales de sus perfiles, a partir de sus ideas más intuitivas y empíricas. Esto es un factor importante para estos estudiantes, dentro de su formación académica y científica a nivel universitario y en especial en lo referente al proceso de aprendizaje del equilibrio químico, como concepto central en la ciencia química admitiendo la falta de formulación del concepto de equilibrio químico en los grupos de estudiantes de licenciatura lo cual requiere la formación y cons-

trucción progresiva basada en los modelos descritos y propuesto por Raviolo (2003,2007).

Por último, se investigó la posibilidad de la existencia de un perfil conceptual del equilibrio químico, para un grupo de graduados en la licenciatura en Educación en Ciencias Físico Naturales a través de la aparición de las categorías definidas para dicho perfil. Se le aplicó el cuestionario a cuatro profesores en el área de concentración química, tres de ellos con grado de maestría en áreas relacionadas con la educación y con tres años mínimo de experiencia en la actividad docente mayoritariamente en las asignaturas: biología, ciencias de la tierra, química de quinto año de educación secundaria y una profesora recién graduada con experiencia docente en las asignaturas mencionadas. A este mismo grupo de profesores, se aplicó la entrevista para estudiar y analizar la toma de consciencia de su perfil, donde tenían que aplicar las distintas concepciones sobre el equilibrio químico en varios contextos.

En el grupo de graduados la **categoría o zona “igualdad”** se presentó en un solo profesor participante, cuando le dio respuesta a la pregunta 2 (descrita anteriormente) y 3; en esta última se le planteó a este grupo, la relación del equilibrio químico con otros equilibrios tales como: el mecánico, el ecológico, el económico y el social para tratar de generar la mayor cantidad de ideas que pudieran confirmar la presencia de alguna zona del perfil. Entre las expresiones que contiene la categoría **“igualdad”** se encuentra las siguientes:

“Si, porque del lado de los reactantes existe la misma cantidad y los mismos elementos que se encuentran en los productos, lo que lleva a generarse un equilibrio químico”

“.. en un compuesto se da el movimiento de átomos para formar un nuevo compuesto y dejar de ambos lados la misma cantidad”

Se puede notar en estas dos últimas respuestas, que el uso de la expresión “la misma cantidad” hace suponer que es una igualdad que se puede referir a “masa” o a “moles”, dependiendo de lo que este profesor conciba como cantidad de materia. La presencia de esta categoría, puede tener su origen en elementos

del equilibrio mecánico como el centro de masa, explicado desde el desarrollo histórico del equilibrio químico (Alemañ, 2012; Raviolo, 2007).

Al dar respuesta a la pregunta 1 y 2 del cuestionario, se admite que emerge la **categoría “estática”** en este grupo. Las expresiones que contienen esta categoría se describen a continuación en la tabla 21.

Tabla 21. Presencia de la categoría "Estática" en el grupo de graduados

“Pienso que el equilibrio es, el estado en el cual se encuentra un cuerpo estable”
“Porque la ecuación esta balanceada, es decir se encuentra estable”
“La palabra equilibrio está relacionada con la estabilidad que existe en un conjunto de elementos que se agrupan para formar un producto final”.
“Es el estado de estabilidad”

Fuente: Información obtenida en la investigación

El equilibrio es concebido como si no ocurriera ningún movimiento o no pasara nada en el sistema, lo que puede contribuir a concepciones estáticas del equilibrio químico, que probablemente se reforzaron en los cursos de química pertenecientes a la escolaridad de la licenciatura, a través de planteamientos didácticos con énfasis en cálculos estequiométricos o concentraciones en el equilibrio con el uso de la constante de equilibrio (Raviolo, Baumgartner, Lastres y Torres, 2001; Rocha, 2005; 2007).

En este grupo, la **categoría “compartimentada”** emergió al tratar de justificar la escogencia de la respuesta a la pregunta 8 referida a los modelos que se podrían adaptar a la situación del sistema de equilibrio de obtención del ácido iodhídrico (ver cuestionario en el Anexo 1).

“En la gráfica B muestran todos los elementos combinados y reaccionando entre sí de manera indefinida (es lo que interpreto de las flechas) lo que la gráfica C no, pues están todos estos elementos se combinan solo una vez, estas 2 graficas se muestran en un solo cumulo de elementos”

En esta expresión, se confirma que la conceptualización del equilibrio en forma separada o compartimentada es persistente aun en estos profesores graduados, que ya cumplieron con un período de escolarización correspondiente a la licenciatura, período donde tenían que construir una conceptualización o manera de “ver” al equilibrio químico donde los reactantes y productos se encuentran en un solo sistema cerrado y no compartimentos separados.

La categoría “estequiométrica” emergió en este grupo de profesores graduados, al darle respuesta de la pregunta 2 del cuestionario. Entre las expresiones que confirman la presencia de esta categoría se encuentran:

“Porque la ecuación está balanceada”

“Porque existe la misma cantidad de átomos de cada lado”

En estas expresiones se puede apreciar la idea del balanceo de ecuaciones, que influye notablemente para definir la situación de equilibrio químico. También esta concepción pudiera estar reforzada por ideas ligadas a la balanza arquimediana donde se forjaron las primeras ideas del equilibrio mecánico (Alemañ, 2012).

En las respuestas al cuestionario aplicado a estos profesores no se evidenció la presencia de **las categorías “equilibrio químico” y Le Chatelier**”. Además de los argumentos dados para los grupos de estudiantes de la licenciatura, en cuanto a la poca formación de las categorías **“equilibrio químico” y Le Chatelier**”, cabe la posibilidad, que esta tendencia estuviera relacionada con la influencia de un largo período dedicado a la práctica docente, en la enseñanza de la biología y química del quinto año de educación secundaria, donde no se enseña específicamente el tema de equilibrio químico.

Aunado a los argumentos que pudieran explicar la ausencia de las categorías mencionadas en este grupo, la formación de estos profesores a nivel de postgrado en áreas relacionadas con la educación, no guarda relación con alguna formación en la ciencia Química o con la enseñanza de esta ciencia, por lo que factores relacionados con la ecología conceptual (Mortimer, 2000; Bello, 2004) de estos profesores, conceptos construidos en otra áreas del saber, pueden estar de manera más sólida, y entran en competencia con el concepto de equilibrio químico desarrollado en los cursos de química correspondientes a la escolaridad de la licenciatura, a pesar que estos profesores se graduaron en la concentración química.

En las categorías descritas en los grupos de participantes, posiblemente existen conceptualizaciones del equilibrio químico, que se pueden convertir en obstáculos de naturaleza epistemológica y ontológica, que de alguna manera im-

piden o dificultan la construcción de zonas científicas del perfil conceptual del equilibrio químico. A continuación se discuten algunos aspectos relacionados con estos tipos de obstáculos.

Posibles obstáculos ontológicos y epistemológicos presentes en los perfiles conceptuales del equilibrio químico en los estudiantes de educación en ciencias físico naturales.

En el proceso de construcción de conceptos científicos, surge la necesidad de plantearse la noción de obstáculo epistemológico, el cual puede entenderse como las limitaciones o impedimentos que afectan la capacidad de los individuos para construir el conocimiento real o empírico (Bachelard, 2009; Camilloni, 2003; Mora, 2002). La noción de obstáculo ontológico, fue planteada y estudiada por Chi (1992) y Chi, Slotta y De Leew (1994). Esta consiste en que las personas clasifican a los objetos del mundo en ciertas categorías, otorgándole a dichos objetos ciertas propiedades para realizar dicha clasificación. El obstáculo de tipo ontológico, surge cuando el estudiante clasifica a una cosa u objeto otorgándole ciertas propiedades que no se corresponden con su naturaleza. Estas nociones de obstáculo epistemológico y ontológico, son aspectos que caracterizan al perfil conceptual propuesto por Mortimer (2000) que lo diferencia del perfil epistemológico de Bachelard (2009).

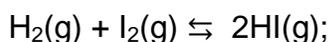
En el proceso de aprendizaje del “equilibrio químico” se pueden generar ciertos modelos mentales, que se pueden explicar a la luz de ciertas teorías de dominio en el campo de las ciencias y estas, a su vez, a la luz de teorías implícitas más generales de carácter ontológico y epistemológico (Vosniadou, 1994a: b;;

Vosniadou, Ioannides, Dimitrakopoulou y Papademetriou, 2001 y Pozo y Gomez, 1998)

Según Raviolo (2006), en el análisis de las ideas sobre equilibrio químico subyacen algunas teorías de dominio que se relacionan con concebir: a la ecuación química como copia de la reacción química. Esta teoría de dominio, puede ser interpretada desde una concepción más general o teoría implícita que consiste en tomar a la ecuación química como representación de la realidad, cuestión que se evidenció en algunas respuestas que se generaron a partir de la pregunta 8 del cuestionario, donde los estudiantes participantes expresaban lo siguiente:

“Las opciones b y c no es adecuada para describir el equilibrio químico porque no se observa las flechas que me indican el equilibrio químico \rightleftharpoons y además no observo cuales son los reactantes y cuáles son los productos. Las opciones d y e sí se observó las flechas y cuáles son los reactantes y los productos pero no está de acuerdo al número de los átomos que reaccionan y al número de moléculas que dan como producto”

En el planteamiento de la pregunta 8, se hace referencia al sistema que representa a la reacción química de una molécula de hidrogeno con una de Iodo para obtener dos de ácido iodhídrico según:



donde se le da importancia a la doble flecha para poder distinguir quienes son reactantes y productos, es decir, necesita de la notación simbólica de la doble flecha, para representar el sistema en equilibrio planteado, quedando en evidencia la idea que plantea Raviolo (2006), de que los estudiantes conciben a la ecuación química como copia de la reacción química, interpretada a la luz de una concepción o teoría implícita de carácter ontológico que consiste en tomar a la ecuación química como representación de la realidad. Esta dificultad u obstáculo, pudiera tener un origen, en interpretaciones que hacen los profesores de ciertos modelos simbólicos usados en planteamientos didácticos para la enseñanza de la reacción química e incluso del equilibrio químico, incentivando en los estudiantes, la idea de que la ecuación química es una representación de la realidad, y no suelen interesarse en que los estudiantes logren la diferenciación entre la funciones de los mo-

delos en la explicación y predicción de fenómenos observables (Guevara y Valdez, 2004).

Entre tanto, otros estudiantes que escogieron la opción (a) como respuesta a la pregunta 8, afirmaban que las otras opciones no representaban a la reacción propuesta, ya que en estos modelos se observaban una cantidad mayor de átomos y moléculas que las representadas en la reacción propuesta. Se puede notar como estos estudiantes le dan importancia a la ecuación química tratando de representar el sistema en equilibrio químico propuesta. A la vez que en estas afirmaciones queda demostrado el bajo nivel de abstracción de estos estudiantes como para llegar a comprender que a nivel micro o atómico-molecular, la ecuación química representa simbólicamente a la reacción química entre una molécula de hidrogeno con una de iodo para dar en equilibrio químico dos de ácido iodhídrico, lo que puede suceder entre millones de moléculas de hidrógeno y de iodo, en un sistema cerrado único, partiendo del concepto de mol y el número de Avogadro.

Es importante señalar que algunos planteamientos desde la enseñanza, deben de apuntar a que el estudiante pueda entender a la ecuación química como un modo simbólico de representación, como un lenguaje basado en símbolos químicos, que da cuenta de un tipo específico de interacción. Muchos estudiantes parecieron adherirse a un realismo interpretativo, considerando la ecuación química no como un modelo (como una construcción humana que ayuda a interpretar la realidad), sino como un ente real (Raviolo, 2006).

Esta es una dificultad de tipo ontológico ingenua en estudiantes universitarios, sobre las relaciones entre conocimiento y realidad que controlarían muchos aspectos del aprendizaje de los estudiantes en el tema de equilibrio químico a nivel universitario. El verdadero cambio conceptual ocurre cuando el estudiante asigne el concepto en otra categoría ontológica de “materia” a “proceso” (Chi, Slotta y Leeuw, 1994; Chiu, Chou y Liu, 2002).

El surgimiento de una zona de “igualdad” como forma de conceptualización del equilibrio químico, puede derivarse de una concepción de equilibrio como equilibrio mecánico, logrado por igualación de fuerzas como en el caso de las proposi-

ciones de Berthollet en 1801 y Gulberg y Waag en 1864 (Raviolo, 2006; Alemañ, 2012).

Entre las respuestas que dieron los estudiantes estaban las relacionadas con el modelo de fuerza como manera de conceptualizar el equilibrio químico como la siguiente:

“Equilibrio de fuerza por ejemplo: en las leyes de Newton la ley de acción y reacción”

Para Niaz (1995) los estudiantes consideran a la reacción directa e inversa como el análogo químico de la tercera ley de Newton. En ésta la fuerza es una propiedad innata o adquirida de los objetos, que no proviene de la interacción de dos objetos. Este conduce a una versión algorítmica de la tercera ley como “para cada acción existe una reacción igual y opuesta” (Raviolo 2006; 2007).

En este mismo sentido Niaz (1995) encontró que los estudiantes conceptualizan la velocidad de reacción como fuerza, en el mismo sentido que el usado en la evolución histórica del concepto equilibrio y de las concepciones erróneas de los estudiantes sobre la tercera ley del movimiento de Newton. Niaz (citado), acepta la hipótesis según la cual la conceptualización de los estudiantes de la reacción directa e inversa como fuerzas, es ontológicamente un paso hacia una más profunda conceptualización del equilibrio químico dinámico.

Al tomar en cuenta el marco teórico propuesto por Lakatos (1978), en el proceso de formación de teorías, los científicos construyen modelos de complejidad creciente recurriendo a transacciones epistémicas que incrementan el poder heurístico/explicativo; en forma similar, estos estudiantes universitarios, pueden construir una serie de modelos que evolucionen, a través de transiciones progresivas, y que los conduzcan a una mayor comprensión conceptual.

Una dificultad muy arraigada en los grupos de estudiantes, fue el de conceptualizar al equilibrio químico con una visión “compartimentada”, es decir, considerar a los reactivos y productos en compartimentos separados (Rocha y col., 2000). Esta dificultad u obstáculo se confirma en expresiones tales como:

“El equilibrio se mantiene en un punto determinado, donde no varía de un lado a otro”

“No porque posee la misma cantidad de moléculas en ambos lados”

“Equilibrio es mantener de un lado lo mismo que en el otro”

Esta idea “compartimentada” se fortalece en las respuestas a la preguntas 8 del cuestionario en donde los estudiantes afirmaban que no escogieron la opción b) ni la c), porque no observaban quienes eran los reactantes y los productos por la falta de la doble flecha. Pudiera estar presente la mezcla de varias maneras de ver o conceptualizar al equilibrio químico. Por una parte, esta idea “compartimentada” probablemente está ligada a las que se conciben para el equilibrio mecánico y por otra, el impedimento de concebir a las especies en equilibrio en un solo “sistema cerrado” tiene que ver con ideas influidas desde planteamientos didácticos, donde el profesor hace énfasis en el uso de la ecuación que representa a la reacción química al señalar las distintas partes de la ecuación química escrita en el pizarrón, empleando frases del tipo “La reacción se desplaza hacia la derecha” (Raviolo 2006).

Otra idea que se considera un obstáculo epistemológico importante es la idea “estática” donde el equilibrio se percibe como si no cambiara nada, al concebir a las especies de reactivos y productos sin movimiento y sin interacción, por lo cual, las reacciones no se siguen produciendo. (Raviolo, 2006)

Como ejemplos de la presencia de esta dificultad se pueden encontrar las siguientes expresiones:

“El equilibrio se mantiene en un punto determinado donde no varía”

“La palabra equilibrio significa poner en dos lados, diferentes elementos para mantenerse estables”

También en las respuestas de los estudiantes se encontraron respuestas donde niegan el aspecto dinámico del equilibrio con poca abstracción a nivel micro de interacción molecular y atómica de las especies en el equilibrio tal como se percibe en la expresión que justifica la escogencia de la opción a como respuesta de la pregunta 8 en la forma siguiente:

“Las demás situaciones no son adecuadas para describir el equilibrio químico planteado, porque están en forma de movimiento y tiene más moléculas que no concuerdan con la reacción”

Otro factor que contribuye a esta visión “estática”, es el uso de la ecuación química desde planteamientos didácticos, para realizar cálculos estequiométricos y cálculos de concentraciones en el equilibrio a partir del uso de la constante de equilibrio, olvidando el uso de un modelo dinámico que incluya la igualdad en la velocidad de las reacciones directa e inversa, es decir, en el equilibrio químico, el número de moléculas que se descomponen por intervalo de tiempo es igual al número de moléculas que se están formando.

Otro obstáculo epistemológico relacionado con el perfil conceptual del equilibrio químico, es referido al surgimiento de la zona de “Le Chatelier”. Los errores conceptuales relacionados con la aplicación del principio de Le Chatelier, pueden deberse a un tratamiento superficial del problema en el que no se realiza un control riguroso de variables, y al empleo de estrategias de resolución de problemas de tipo algorítmico que no cuestionan su validez (Quílez, 1997a; b).

Algunos estudiantes del tercer grupo afirmaron:

“Al introducir una cantidad de NH_3 la reacción comienza a moverse ← en este sentido para generar NH_4Br y de esta forma se logra el equilibrio en toda la reacción”

“El sistema alcanza de nuevo el equilibrio reaccionando en dirección hacia los reactivos para disminuir el exceso de NH_3 lográndose así nuevamente el equilibrio”

En estas expresiones se nota el empleo del principio de Le Chatelier como regla infalible donde se encuentra una dificultad de transferencia de los principios generales del equilibrio químico (reacciones entre gases) a los equilibrios heterogéneos (reacciones: sólidos y gases) (Quílez, 1997a; b).

En el caso propuesto en la pregunta 12, el estudiante tendría que hacer uso del control de variables del sistema, así la adición de $\text{NH}_3(\text{g})$, a presión y temperatura constantes, producirá la descomposición del $\text{NH}_4\text{Br}(\text{s})$ si, inicialmente, la fracción molar del amoníaco en el equilibrio es mayor que 0,5, al contrario de lo que una aplicación mecánica y superficial supone una impropia aplicación del principio de Le Chatelier (Quílez, 1995; 1997a, 1997b).

El control de variables (Quílez, 2006) y la formación de conceptos desde la termodinámica basado en un tratamiento matemático que permita elucidar el desplazamiento de algún sistema en equilibrio químico al ser perturbado, es una tarea

que debe ser llevada a cabo desde planteamientos didácticos que conlleven al estudiante a la construcción progresiva de conceptos físico químicos con el rigor matemático necesario (Quílez y Solaz, 1996), para una mejor aplicación del principio de Le Chatelier y alejarse de planteamientos superficiales que solo conducen a no percibir el comportamiento microscópico del equilibrio químico, cuya comprensión requiere de un alto nivel de abstracción, cuando se estudia un sistema heterogéneo sólido-gas debido a la presencia del sólido, ya que si fuese el caso, al formarse una cantidad mayor de sólido, su concentración no varía (Quílez, 1998).

Tal como lo afirman Rocha, Rodeja y Domínguez (2000), el hecho de que la concentración, o en su caso la actividad, de una especie condensada es independiente de la cantidad presente, es un aspecto que no se incluye habitualmente en la instrucción del alumnado cuando se estudia el tema concentración.

De acuerdo a la caracterización de los obstáculos ontológicos y epistemológicos presentes en algunas zonas del perfil conceptual de estos estudiantes universitarios, es lo que permite plantear que, el aprendizaje y construcción del concepto de equilibrio químico a través de la carrera de Educación en ciencias físico naturales, dependerá de la superación y el vencimiento gradual de estos obstáculos y como consecuencia de este factor conllevará a la formación de zonas racionales del perfil que pueden incluir ideas y conceptualizaciones del equilibrio químico, que incluyan: la aplicación de un modelo dinámico del equilibrio, una visión amplia del mundo micro, conceptos físico químicos con el tratamiento matemático necesario para construir el nivel de abstracción que requiere la comprensión de ese mundo micro, con la intención de provocar un cambio conceptual que conlleve a una formación académica y científica sólida de estos estudiantes como futuros docentes en Ciencias físico naturales.

La toma de consciencia en el uso del perfil conceptual del equilibrio químico en situaciones problemáticas

Como ya se mencionó en el planteamiento metodológico, el objetivo de practicar una entrevista a personas una vez finalizado su periodo de escolarización universitaria en la licenciatura en educación en ciencias físico naturales, fue

para analizar la toma de consciencia del perfil conceptual del equilibrio químico y confirmar la presencia o no de zonas de dicho perfil.

En consecuencia, se transcribieron por completo las entrevistas de cuatro profesores que desarrollan su práctica docente en la enseñanza de las ciencias naturales en la educación secundaria.

Para comenzar, se analizó la entrevista de una profesora graduada en la concentración química y codificada como Prof.1. Esta profesora se ha desempeñado en el área de biología y química del quinto año de bachillerato. En esta profesora, se observa la presencia de la zona “igualdad” tal como lo expresa en el fragmento 1, cuando se le preguntó ¿Qué significa la palabra equilibrio?.

Fragmento1.

Entrev: la primera pregunta, qué significa la palabra equilibrio?

Prof.1: la palabra equilibrio hace referencia a cuando dos o más elementos o este digamos algún grupo de compuestos están en igualdad de condiciones es decir, que del lado por ejemplo, de un lado este, se encuentra en las mismas condiciones que del otro lado dónde están esos elementos o ese grupo de aspectos que están involucrado en alguna situación

Entrev: Cuando te refieres a lados que te imaginas cuando te refieres a los lados

Prof.1: me imagino una balanza digamos que un objeto donde de un lado se encuentran unos aspectos y del otro lado están los otros aspectos para que haya un equilibrio me imagino o sea lo primero que se me viene a la mente es una balanza para equilibrar

Se puede notar, que primero hace referencia a una igualdad entre grupos de compuestos, pero esta igualdad a diferencia de los estudiantes de pregrado que mencionaban una igualdad entre masas, se refiere en este caso a las condiciones o aspectos de cualquier sistema, que incluye elementos del equilibrio mecánico a los lados de una balanza como imagen mental (Raviolo, 2006). La presencia de la zona de “igualdad” en esta profesora, indica el contenido de elementos que pudieran intervenir en la formación de concepciones compartimentadas del equilibrio químico, cuando hace referencia a “de un lado se encuentran unos aspectos y del otro lado están los otros aspectos”.

Cuando a esta profesora se le preguntó ¿Qué significa un sistema en equilibrio químico?, en respuesta da indicativos de la presencia de la zona “este-

quiométrica” al mencionar que la condición que se debe cumplir entre reaccionantes y productos es que estén en las mismas proporciones, tal como lo describe en el fragmento 2

Fragmento 2

Entrev.: La segunda pregunta ¿qué significa para usted un sistema en equilibrio químico?

Prof.1: en equilibrio el químico entonces sería este digamos que ese grupo de elementos que van a conjugarse ¿verdad? que forman un compuesto pero entonces que de un lado qué sería de los productos tenemos la, digamos que las mismas proporciones que están del otro lado de los reactantes que este sea reversible, pero entonces que tengan las mismas proporciones en el caso de los compuestos químicos

En este fragmento de la entrevista, hay una toma de consciencia (Moreno, 1989; Coutinho; El-Hani y Mortimer, 2007a y b; Mortimer, 2000) por parte de la entrevistada, ya que menciona la *reversibilidad* entre reactantes y productos, condición necesaria para definir el equilibrio químico.

En otra parte de la entrevista, esta profesora trata de relacionar el equilibrio químico con el equilibrio ecológico afirmando:

”El aspecto natural vive de equilibrios químicos constantes, es una interrelación directa que existe”,

Queriendo plantear que la naturaleza o los aspectos naturaleza, necesitan del equilibrio químico para su subsistencia.

Tomando en cuenta la experiencia laboral de esta profesora, en el área de biología, tiende con facilidad a establecer relaciones conceptuales del equilibrio químico con el funcionamiento metabólico del cuerpo humano (Fragmento 3), referidas a mecanismos homeostáticos en función de mantener por ejemplo; los niveles de azúcar en la sangre.

Fragmento 3

Entrev.: ¿Por qué considera usted que es importante para el cuerpo humano como sistema el equilibrio químico?

Prof.1: Es fundamental el cuerpo humano este día tras día desde que nos acostamos nos levantamos, desayunamos, constantemente está trabajando su metabolismo y para que el metabolismo se desarrolle de la manera más óptima o normal es importante que en el cuerpo exista un equilibrio químico en su totalidad, es decir, que aquellas hormonas que trabajan por ejemplo para llevar el

azúcar en sangre hasta la célula, es importante que exista un equilibrio químico, si tenemos más de algún compuesto que no ejecute las acciones como deben ser entonces el cuerpo ya empieza a descompensarse y así con todos los otros elementos desde que caminamos estas energías que estamos obteniendo ya sea a nivel de síntesis o que estamos catalizando constantemente el proceso de las enzimas es decir en todo eso hay un equilibrio químico en las reacciones endotérmicas exotérmicas que se desarrollan en el cuerpo constantemente

En este fragmento también se puede notar la falta de toma de consciencia de su perfil, cuando manifiesta “que es importante que en el cuerpo (humano) exista el equilibrio químico, si tenemos más de algún compuesto que no ejecute las acciones como debe ser, entonces ya el cuerpo empieza a descompensarse”, pareciera en este caso, que solo el exceso de un compuesto es el verdadero origen de un trastorno corporal y no se debe también a un mal funcionamiento celular o metabólico, que provoca el exceso de algún compuesto en sangre.

En la última parte de la entrevista, se le plantea a la profesora, una situación relacionada con el cambio en la intensidad de coloración en los lentes fotocromáticos. El cambio en la coloración de los cristales del lente, es debido a la absorción de luz del equilibrio Cloruro de plata (AgCl). En el fragmento 4, la profesora hace una toma de consciencia que comienza con aspectos físicos del fenómeno de absorción de la luz en los cristales, y donde el entrevistador interviene, tratando de generar la toma de consciencia preguntando ¿Qué le pasa a la reacción que ocurre en los lentes? ¿A qué se debe el color oscuro de los lentes y luego vuelven otra vez a transparentes? ¿No encuentra similitud con el equilibrio químico?

Fragmento 4

Entrev. Los lentes fotocromáticos son lentes con cristales que cambian de color en función de la intensidad de la luz, es decir, cuando una persona que usa este tipo de anteojos está dentro de una residencia, los cristales son prácticamente incoloros, pero cuando la persona sale de la residencia, y se expone a la luz, los cristales tienden a ponerse de un color oscuro. ¿Por qué cree usted que ocurre dicho fenómeno? ¿Cuál piensa usted que es la explicación al efecto ocurrido?

Prof.1 Bueno los lentes deben tener una composición digamos que una como una plantilla que contiene una composición que es foto receptora entonces a lo que está en presencia de luz solar se van tornando de ciertos colores que le permita a la persona pues éste que no sea afectado directamente por la inciden-

cia de esos rayos

Entrev. ¿qué le pasa al lente en cuanto al equilibrio químico? imaginemos que el lente tiene un sistema de equilibrio químico y que es un foto receptor como tú lo estas planteando ¿Qué le pasa a la reacción que ocurre en los lentes?

Prof.1 ¡¡ exacto !!! bueno lo que pienso ahorita es que entonces el lente está hecho de cierta composición química ¿verdad? que hace que cuando recibe la los rayos solares entonces encuentra ese equilibrio dependiendo de la intensidad porque no todo el color se torna como usted dice si estamos aquí por ejemplo sobre sombra va a tener una tonalidad distinta y si salgo directamente, entonces ese equilibrio se va consiguiendo a medida que los rayos de sol van incidiendo entonces si hay mayor intensidad del color y se tornan más oscuros

Entrev. ¿A qué se debería el color oscuro y después que lo lentes vuelvan otra vez al color transparente? ¿No encuentras una similitud con el equilibrio químico?

Prof.1. Pienso que si hay un equilibrio químico porque entonces dependiendo de la cantidad de incidencia de la luz entonces como que se reordenan los iones o lo que pueda contener la película que tiene el lente se reordenan para conseguir en ese momento el estado que pudiera ser transparente por ejemplo al tener incidencia entonces hay otro reordenamiento de esos iones para entonces mostrar otra tonalidad que va a depender de la luz solar pero entonces si hay un equilibrio químico y es como si hubiese ese reordenamiento que le busque tener ese equilibrio según la cantidad de sol que esté recibiendo.

La toma de consciencia en este caso, se relaciona con expresiones que reconocen el reordenamiento de los iones debido a la incidencia de los rayos del sol en los lentes, pero desconoce el sistema de cloruro de plata, el cual se ve perturbado por la incidencia de la luz solar. Al parecer, el reconocimiento del reordenamiento de los iones al ser perturbado el sistema, da lugar posiblemente a concepciones sobre el principio de Le Chatelier y también, pudiera guardar relación con concepciones dinámicas del equilibrio químico.

A continuación, se procedió al análisis de la entrevista hecha a una profesora graduada en la licenciatura en educación en la concentración química y con maestría en diseño instruccional y codificada como Prof.2. Esta profesora muestra una marcada influencia del contexto socio cultural que influyen en sus concepciones sobre el equilibrio químico tal como lo expresa en el fragmento 1 de la entrevista.

Fragmento 1

Entrev.: ¿Qué debe de ser equilibrio? ¿Qué es el equilibrio?

Prof.2: bien, bueno en este caso uhm yo diría que equilibrio significa el estado perfecto de algo, de alguien, el estado de consciencia, en donde esteee??? Si

eso más que todo

Entrev.: por qué?, ¿Por qué el estado de consciencia, en qué manera se manifestaría el equilibrio, si lo defines así ¿cómo se manifiesta el equilibrio?

Prof.2: posiblemente para mí a nivel de ser humano este el estado de consciencia espiritual emocional, este corporal, que implica lo físico lo mental, este para mí eso sería que todo el sistema esté en armonía y consciente y para qué es cada cosa que funciona en el ser humano.

Como se puede notar en este fragmento, su forma de conceptualizar el equilibrio, tiene una marcada influencia de algún tipo de formación multicultural junto a las oportunidades de vida a las que ha tenido acceso. Es probable que este tipo de conceptualización, podría dar origen a concepciones ontológicas (Chi, Slotta y De Leew, 1994; Chi, Cho y Liu, 2002; Raviolo, 2006; Vosniadou, 1994b) del equilibrio químico al categorizarlo como “estados mentales” (Soto, 2002, p.74), de consciencia, espiritual, emocional en que un sistema esté en armonía. Cuando a esta profesora se le preguntó ¿Qué es un sistema en equilibrio químico?, ella respondió:

Fragmento 2

Entrev: ¿Qué es un sistema en equilibrio químico?

Prof.2: este, cuando todos los componentes están funcionando bien en cantidades iguales en relaciones relativas verdad? En donde precisamente se conserva la masa hasta el final o sea no se destruye sino que se conserva, o sea mantiene y solo se transforma.

De este fragmento se puede deducir, la presencia de las zonas de “igualdad” y “estequiométrica” cuando expresa: “cantidades iguales en relaciones relativas” pero se puede notar la falta de toma de consciencia al no definir el equilibrio químico en términos de: reversibilidad, igualdad en las velocidades de las reacciones directa e inversa”. Esta falta de toma de consciencia queda evidenciada, cuando se refiere al equilibrio químico como una situación “cuando todos los componentes están funcionando bien” alejándose de una concepción e interpretación atómica y molecular de las reacciones químicas en condiciones de reversibilidad. Esta última concepción se construye en el ámbito académico y no en el contexto cotidiano (Raviolo y Martínez, 2003).

Sin embargo a medida que se desarrollaba la entrevista, expresa que el equilibrio químico “no es tan visible” como si dejara entrever una visión micro de la situación de equilibrio, y que en el fragmento 3 queda evidenciado a través de la

inducción del entrevistador, la profesora va haciendo reconocimiento del nivel de representación micro del equilibrio químico.

Fragmento 3

Entrev: ¿en que se parece el equilibrio mecánico al equilibrio químico?

Prof.2: Aja!! Este, de repente si nosotros en un equilibrio observamos un movimiento verdad? De elementos esteee de manera macroscópica visual esos elementos tienen que desplazarse en cantidades iguales ¿verdad? Y obtener un producto o un cambio este que se requiera manteniéndose los mismos elementos de ese movimiento y en el químico aunque no es tan visible pues internamente.

Entrev: ¿Qué significa que no sea visible?

Prof.2: por ejemplo a veces las reacciones químicas no se observan a simple vista por cambio de color, olor

Entrev: entonces a qué nivel se encuentra una reacción o en equilibrio químico?

Prof.2: puede estar desde el punto de vista microscópico y macroscópico pues se vería en una reacción química que genere calor, que de repente absorba el calor; que de repente cambie de color, olor y entonces a veces entonces a veces...

Entrev: ¿Cuáles son las partes de una reacción química?

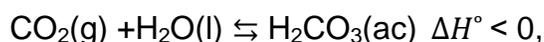
Prof.2: los reaccionantes que pueden ser un compuesto que se esté descomponiendo y esta el producto, y está por ejemplo el catalizador, puede haber un catalizador

Entrev: ¿Qué significa entonces si hay reactivos y productos ese sistema esté en equilibrio químico?

Prof.2: que existan en cantidades iguales de reactivos verdad? Y esa cantidad de reactivos cuando este el compuesto ya en el producto estén en las mismas cantidades, las mismas cantidades de átomos, molecular.

Se puede percibir en este fragmento que emerge la categoría “igualdad” debido a que se concibe que un sistema en equilibrio químico es cuando hay igual cantidades de reactivos y productos. También reconoce la ocurrencia de una reacción química, pero no en condiciones de reversibilidad. La percepción de la reacción química a través de una generación de calor, cambio de color, y olor, se presenta como procesos que avanzan hasta terminar y tienen lugar en una dirección, es decir, una reacción irreversible (Van Driel y Gräber, 2002). También hace mención a la presencia de un catalizador como parte del sistema del equilibrio químico. Esta concepción puede tener su origen en planteamientos didácticos cuando se desarrollan en los cursos universitarios de química, temas relacionados con cálculos estequiométricos, reactivo limitante y en exceso.

En el planteamiento 7 de la entrevista referida a la bebida gaseosa (Al destapar una bebida gaseosa, se experimenta el escape de un gas. Explique ¿Cómo afecta este hecho, al equilibrio químico en la solución que queda en el recipiente?), la prof.2 no hace uso consciente de la zona de Le Chatelier y de una concepción científica del equilibrio químico al no mencionar la reacción involucrada:



y tampoco hace referencia de que se trata de una reacción exotérmica para mantener el dióxido de carbono disuelto en agua (Raviolo, Gennari y Andrade, 2000). En el fragmento 4 se evidencia una situación de desequilibrio que perdura y no vuelve al equilibrio como si se trata de reacciones en un solo sentido, es decir, reacciones irreversibles, por lo tanto se trata de un obstáculo epistemológico, originado a partir del uso de la ecuación química en los cálculos estequiométricos, rendimiento porcentual, reactivo limitante y en exceso.

Fragmento 4

Entrev: ¿Qué le pasa a la reacción en la solución el líquido-gas cuando se escapa el gas?

Prof.2: ahí ya no estaría en equilibrio químico si hay ahí un desequilibrio y quedaría la solución acuosa con el azúcar pero no queda la parte del dióxido de carbono, queda el colorante

En este caso, al destapar la bebida gaseosa disminuye la presión total y la presión parcial del dióxido de carbono en el recipiente, el sistema compensa parcialmente esta perturbación, hacia el desprendimiento de más gas (Raviolo, Gennari y Andrade, 2000).

Para continuar con este análisis, se entrevistó a un profesor graduado en la licenciatura en educación en la concentración química (*Prof.3*) y con experiencia laboral en la enseñanza de la biología y en algunas oportunidades con cursos de química del quinto año.

En la entrevista con este profesor, se evidencia la toma de consciencia de su perfil (Fragmento 1) cuando es capaz de reconocer que sus concepciones sobre equilibrio químico, son aplicables en contextos distintos.

Fragmento 1

Entrev. ¿Qué significa la palabra “equilibrio”?

Prof.3: la palabra equilibrio se puede asociar en el contexto de muchas maneras por ejemplo en el contexto personal cuando hablamos de equilibrio de una persona equilibrada es una persona que está centrada que tiene fijadas metas, que tiene fijadas estructuras de vida y que se rige por ciertas normativas que de otra manera le benefician, cuando nosotros hablamos de equilibrio en el caso de química, estamos hablando de equilibrio químico estamos hablando de la cantidad de sustancia que hay de un lado de concentraciones de un lado y del otro y que hacen que la reacción se mantenga como lineal, estable, se mantenga estable, que haya un nivel que no haya un desperfecto en la reacción sino que esta se mantenga como constante.

En este fragmento, se puede reconocer en el Prof.3, que sus concepciones pueden ubicarse en la zona “compartimentada” cuando menciona que existen dos lados de una reacción en donde las cantidades de sustancias y sus concentraciones, son necesarias para mantener estable y constante el sistema en equilibrio. También emerge la zona de “igualdad” cuando en el fragmento 2 de su entrevista, afirma que las cantidades de reactivos y productos tienen que estar en la misma cantidad para que se dé un equilibrio químico. Esta afirmación podría dar origen a concepciones poco dinámicas del equilibrio químico, ya que a la igualdad que se refiere este profesor, tiene que ver con cantidad de sustancia o concentración, tal como lo afirma en el fragmento 1.

Fragmento 2

Entrev: que significa que un sistema esté en equilibrio químico, específicamente

Prof.3: ... yo pienso que el equilibrio químico es la relación de cantidades de productos que se encuentran en los extremos de una reacción que son de la misma cantidad que al final de la reacción usted va a usar cierta cantidad de productos que van a coincidir de entrada cuando se da la reacción uno en relación con los otros

Entrev. O sea que consideras que un sistema que está en equilibrio tiene la misma cantidad de reactivos y la misma cantidad de productos.

Prof. 3: correcto! Correcto!

A medida que avanzaba la entrevista, se le planteó al Prof.3, su opinión a la expresión común ¡tengo acidez estomacal! y aunque el ácido clorhídrico no es un ácido débil, se le acotó que se refería a la manera cómo había sido perturbado el equilibrio químico de su sistema digestivo. En esta situación se trataba de generar ideas sobre el principio de Le Chatelier, en donde el cuerpo humano no puede co-

rregir por si solo el exceso de ácido. En el fragmento 3 se puede notar que éste profesor hace uso de nociones de reacciones ácido base en su explicación.

Fragmento 3

Entrev: cuando una persona expresa ¡tengo acidez estomacal! de qué manera ha sido perturbado el equilibrio químico de su sistema digestivo.

Prof.3: el aumento de la acidez de los jugos gástricos

Entrev: y como se puede corregir dicha perturbación

Prof.3: con una base agregando una base, en este caso un malox o alguna de esas soluciones que toman para la acidez que son bases para crear un equilibrio químico en el cuerpo y la persona deje de sentir ese efecto como tal

Entrev: como se daría ese equilibrio en el cuerpo, entonces. Cuando usted consume la base

Prof.3: ocurre una reacción que hace que ese gradiente de mayor concentración en este caso, el ácido reacciona con la base y existe un equilibrio y vuelva otra vez a los niveles que el cuerpo necesita en su estómago para estar normal

Entrev: ¿quiénes reaccionarían ahí?

Prof.3: los ácidos y las bases

En el fragmento 4 al prof.3 se le planteó la situación del escape de un gas, del dióxido de carbono al destapar una bebida gaseosa, buscando generar ideas sobre el principio de Le Chatelier.

Fragmento 4

Entrev: Al destapar una bebida gaseosa, se experimenta el escape de un gas. Explique

¿Cómo afecta este hecho, al equilibrio químico en la solución que queda en el recipiente?

Prof.3 eso es ¿dióxido de carbono no es? Ese es dióxido de carbono que se libera que fue uno de los ingredientes para hacer esa reacción química que hay en esa bebida gaseosa, quizás eso es lo que le da el complemento a esa reacción y si usted deja que ese envase bote los gases, el líquido pierde el sabor, y como si él perdiera la efervescencia, perdiera algo de él que no lo hace igual al original, cuando usted lo consume usted mismo puede predecir ¡eso ya no tiene gas!

En la primera parte del fragmento, el prof.3, pareciera indicar que el dióxido de carbono es un ingrediente que se utiliza en la preparación de la bebida gaseosa, lo que puede ser un indicativo de una falta de toma de consciencia en poder

visualizar la situación de equilibrio en el sistema gas-líquido, en donde el dióxido de carbono no es un ingrediente inicial por sí solo, sino que se genera en una reacción exotérmica del ácido carbónico en un sistema presurizado inicialmente. La falta de efervescencia la atribuye a la pérdida del gas, pero no reconoce a nivel microscópico, el cómo corrige el sistema la pérdida del dióxido de carbono.

La cuarta profesora entrevistada (Prof.4) es licenciada en educación en Ciencias Físico Naturales en la concentración química recién graduada, y con dos años de experiencia en cursos de química y ciencias de la tierra a nivel de educación secundaria.

Al comienzo de la entrevista esta profesora manifiesta en el fragmento 1, la presencia de la zona de “igualdad” del equilibrio químico.

Fragmento 1

Entrev. La primera pregunta ¿qué significa la palabra equilibrio?

Prof.4. Equilibrio es donde hay una igualdad de dos partes que se ponen en contacto que están en un mismo sitio que tienen las mismas características y hace que sea que se comporte de igual manera o que haya un equilibrio

Entrev. ¿Qué significa para usted un sistema en equilibrio químico

Prof.4 un sistema en equilibrio químico que tenga las mismas cantidades de tanto de reactivos como de reactantes de reactivos y los productos la misma cantidad de peso este que tenga características similares para que se pueda dar ese equilibrio químico

En este fragmento se puede notar que en la primera parte se refiere a una igualdad de dos partes, y se confirma esta concepción, como la misma cantidad de reactivos y productos. Esta zona está presente fuertemente tanto en los grupos de estudiantes de la licenciatura como en los ya graduados. Al parecer la influencia de elementos del equilibrio mecánico (Alemañ, 2012), ayudan a consolidar la idea del equilibrio como una igualdad de masas o de pesos, pero no como una igualdad en las velocidades de las reacciones directa e inversa.

En el fragmento 2, pareciera que emerge una concepción de “equilibrio químico” relacionada con el término “estabilidad”, lo cual puede contribuir a visiones estáticas del equilibrio como si las especies químicas estuvieran sin movimiento y sin alteración en una supuesta estabilidad (Raviolo, 2006).

Fragmento 2

Entrev. ¿Por qué considera importante para el cuerpo humano como sistema el equilibrio químico?

Prof. 4 porque si no hay equilibrio químico hay un descontrol dentro del cuerpo humano es lógico porque este, hay número uno procesos químicos que ayudan a que el cuerpo se mantenga estable como es si? si dentro de este equilibrio químico hay algún factor que lo afecte, obviamente se rompe ese equilibrio químico el cuerpo va a responder y no va actuar o no va a reaccionar de la manera como normalmente lo hace

En otra parte de la entrevista, (Fragmento 3) la profesora relaciona el equilibrio químico con los equilibrios ecológicos, económico y social a través de la ley de acción y reacción de Newton

Fragmento 3

Entrev. ¿A cuál de las siguientes situaciones se aproxima más el equilibrio químico y explique por qué? Equilibrio mecánico, equilibrio ecológico, el equilibrio económico y el equilibrio social

Prof.4 Con el ecológico de igual manera este ecológico se me viene la ambiente, si es este siempre va a haber un principio de acción y reacción en el ambiente también entonces este cuando por ejemplo en las plantas les incide el sol ahí ocurre todo un proceso químico dentro de la planta que me va obtener un resultado entonces este siempre debe haber para mí un buen unos buenos reactivos para que me dé un buen producto y se lleva a cabo se equilibrio. El otro es? el económico supongo que es la parte de cómo se, se hay alguna administración alguna parte de lo que se está haciendo para uno poder lograr un buen objetivo en cuanto a la parte de economía y el social pues de igual manera lo aplica también de acción y reacción para uno este recibir alguno debe aportar algo y siempre en la misma medida si? para que todo se lleve de manera equilibrada que no hayan altibajos

Para Níaz (1995), los estudiantes consideran a la reacción directa e inversa como el análogo de la tercera ley de Newton. En ésta, la fuerza es una propiedad innata o adquirida de los objetos y los conduce hacia una visión algorítmica de la tercera ley de Newton como “para acción, existe una reacción igual y opuesta (Raviolo, 2007).

En el fragmento 4, la profesora entrevistada, no demuestra la toma de consciencia para aplicar concepciones científicas del equilibrio químico.

Fragmento 4

Entrev. Al destapar una bebida gaseosa se experimenta el escape de gas. Explique ¿Cómo afecta este hecho a la solución que queda en el recipiente?

Prof.4 Pues lo que pasa es que esos líquidos los meten dentro de los envases a presión y supongo que esa presión ¿sí? y junto con todos los gases que tiene aparte el líquido cuando se cierra se llena todo eso de gases y al abrirlo por

algún lado necesita salir ese gas

Entrev. ¿Sabes cuál es el equilibrio que está presente en una bebida gaseosa?

Prof.4 No recuerdo

Entrev. Los lentes fotocromáticos son lentes con cristales que cambian de color en función de la intensidad de la luz, es decir, cuando una persona que usa este tipo de anteojos está dentro de una residencia, los cristales son prácticamente incoloros, pero cuando la persona sale de la residencia, y se expone a la luz, los cristales tienden a ponerse de un color oscuro. ¿Por qué cree usted que ocurre dicho fenómeno? ¿Cuál piensa usted que es la explicación al efecto ocurrido?

Prof.4 Yo pienso que esos lentes deben tener un recubrimiento o algo así que reaccionan ante los rayos del sol eh? De verdad no sé ahí, sí he visto los lentes o sea no me he detenido a ver qué es lo que pasa con esos lentes de verdad siéndole sincera

Se puede notar en este fragmento 4, que la profesora (Prof. 4) no logra identificar las especies químicas presentes en los equilibrios tanto de la bebida gaseosa como en el sistema de lentes fotocromáticos (Guarino, 2010; Rocha, 2016).

Una vez analizadas las entrevistas de los cuatro profesores graduados, se pueden hacer algunas consideraciones. El primer factor de relevancia, es el relacionado a la falta de consciencia de los entrevistados para dar explicación a situaciones problemáticas, donde tenían que aplicar los principios y concepciones que definen al equilibrio químico. El reconocimiento por ejemplo de reacciones reversibles fue muy superficial y mucho menos considerar equilibrio químico como una igualdad en las velocidades de las reacciones directa e inversa de manera simultánea. También es importante señalar que los entrevistados no tienen una representación del nivel micro del equilibrio químico al no utilizar modelos basados en la teoría de las colisiones y las velocidades de reacción como paso intermedio para asumir la construcción de un modelo termodinámico del equilibrio químico.

Es importante también señalar que, ningún entrevistado argumentó sus explicaciones con concepciones relacionadas con el principio de Le Chatelier, del cual se requería en aquellas situaciones de equilibrios perturbados como fue en los casos de la bebida gaseosa y el sistema de los lentes fotocromáticos. Es probable que las concepciones de los entrevistados, se puedan ubicar en el modelo

histórico centrado en las fuerzas señalado por Raviolo (2003), partiendo del trabajo de los modelos históricos para la cinética química de Justi y Gilbert (1999).

Raviolo (2007), sugiere una secuencia didáctica que aborde los tres modelos históricos desde el modelo centrado en las fuerzas, luego en aquel centrado en las velocidades, y aplicar estrategias basadas en modelo de la energía, incluyendo el estudio del control de variables termodinámicas.

En términos del perfil conceptual, éste abordaje probablemente favorecería la formación de zonas de “equilibrio químico” y “Le Chatelier” para un aprendizaje significativo del concepto de equilibrio químico lo que contribuiría a fortalecer la formación académica científica adquirida a través de los cursos de química en la etapa de escolarización universitaria de la carrera de educación en ciencias físico naturales.

Presentación de los perfiles conceptuales del equilibrio químico de universitarios en educación en ciencias físico naturales

Una vez obtenidas las categorías relacionadas con las distintas maneras de conceptualizar el equilibrio químico, por parte de los grupos de universitarios participantes, se procedió a la construcción de los distintos perfiles de cada uno de ellos, que se pudieron derivar a partir de sus respuestas al cuestionario aplicado para tal fin.

De acuerdo con los planteamientos hechos por Mortimer (1995; 2000), se acepta que la presencia de varias zonas del perfil conceptual del equilibrio químico, demuestra que este concepto es comprendido por el grupo de participantes de distintas maneras, que pueden convivir en el mismo individuo, relacionadas con distintas maneras de pensar y hablar y que pueden ser utilizadas en contextos específicos.

Bajo la noción del perfil conceptual, la enseñanza de las ciencias y en este caso de la Química, no demanda una ruptura o la sustitución de las concepciones previas (Bello, 2004; Moreira y Greca, 2003; Schnotz, Vosniadou y Carretero, 1984) por las concepciones científicas, tal como lo concebía la tesis de Posner, Strike, Hewson y Gertzog (1992).

A continuación se procedió a construir y analizar los perfiles conceptuales de los grupos de participantes. Es de aclarar que cada categoría se constituye en una zona del perfil y que su altura o extensión (EZP) coincidirá con la frecuencia con que aparezca en las respuestas de cada participante a los planteamientos hechos en el cuestionario. Estas categorías o zonas del perfil fueron definidas en la prueba piloto a través de un juego dialógico entre los dominios socio cultural que representa todas aquellas ideas derivadas en el desarrollo histórico del concepto, ontogenético que se refiere a todos los estudios hechos sobre preconcepciones e ideas y dificultades sobre el equilibrio químico y el microgenético que se refiere a toda aquella información relacionada con las ideas del equilibrio químico que se derivan de la aplicación de instrumentos tales como cuestionarios y entrevista (Wertsch, 1988) como corresponde en este caso.

Perfiles conceptuales

A continuación se presentan los **perfiles del grupo 1**, de estudiantes de la licenciatura en Educación en ciencias físico naturales. Este es un grupo de estudiantes que está comenzando sus estudios universitarios, con la particularidad de que entre el primer y segundo semestre no han cursado alguna asignatura de química. Este factor es importante tomar en cuenta a instancias de poder analizar la presencia o no de ciertas zonas del perfil conceptual del equilibrio químico en este primer grupo.

En la tabla 22, se puede notar que la mayoría de participantes posee una o dos zonas del perfil, donde se ubican ideas relacionadas con el equilibrio mecánico y concepciones estáticas y estequiométricas del equilibrio químico (Raviolo 2006; 2007; Rocha, 2007; Moncaleano, 2008; Moncaleano, Furió, Hernández y Calatayud, 2003). La presencia de este tipo de ideas puede deberse a planteamientos didácticos empleados en la enseñanza de la química a nivel de secundaria, con énfasis en la realización de cálculos estequiométricos y no hacer la distinción en el uso de la ecuación química como modelo y la realidad que representa. La presencia de estas ideas puede ser reforzada en los cursos de física, cuando

se enseña cuestiones relacionadas con el equilibrio mecánico por la facilidad de usar ejemplos de la vida cotidiana (Raviolo 2006; 2007; Rocha, 2007).

Tabla 22. Distribución de los perfiles conceptuales individuales del grupo 1 de estudiantes participantes

Perfiles	Estudiantes Participantes
Una zona	14
Dos zonas	10
Tres zonas	5
Cuatro zonas	1

Fuente: Información obtenida en la investigación

Según la información vista en la tabla 22, se observa que hay una cantidad significativa de estudiantes del primer y segundo semestre que tienen pocas formas de conceptualizar el equilibrio químico, sobre todo relacionadas con ideas intuitivas y muy pocas relacionadas con ideas científicas de este concepto. A la vez el número de zonas puede significar una limitación en su variedad de ideas para poder explicar en determinados contextos, ciertos fenómenos relacionados con el equilibrio químico. Esto puede significar que este primer grupo tiene que construir ideas científicas que se puedan relacionar con las zonas “equilibrio químico” y “Le Chatelier” con el nivel de representación micro a la par de la activación de estrategias cognitivas y metacognitivas (Martínez, 2007), que le permita a los estudiantes de este grupo, la adquisición del nivel de abstracción necesario para la comprensión del concepto de equilibrio químico.

En la figura 1, se puede observar la construcción del **perfil general del grupo 1 de estudiantes** en términos de porcentajes de aparición de cada zona, para lo cual se tomó en cuenta la frecuencia con que apareció cada categoría de cada zona en las respuestas dadas al cuestionario aplicado. A esta frecuencia se le llamó “extensión de la zona en el perfil” (EZP) y donde su valor en varias oportunidades supera al número de participantes debido a que en una sola respuesta se pudieron detectar la presencia de dos o más zonas.

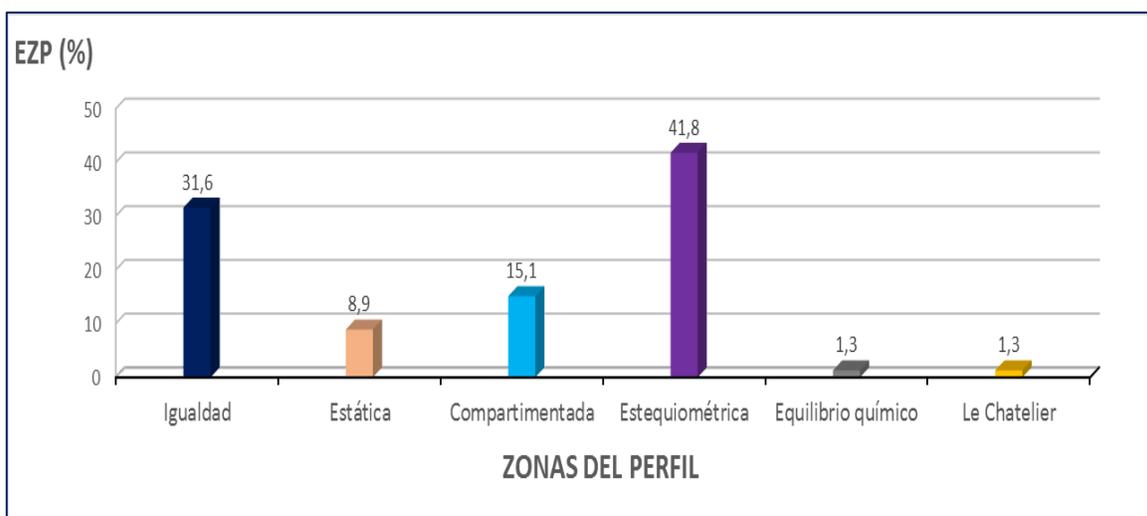


Figura 1. Perfil conceptual del equilibrio químico del grupo 1

De esta manera, la metodología de análisis se basó en los enunciados categorizados, siguiendo la metodología sugerida por Coutinho, El-Hani y Mortimer (2007).

Se puede observar en la figura 1, que existe una gran influencia de la zona “igualdad” y “estequiométrica”, lo que explicaría la poca presencia de las zonas “equilibrio químico” y “Le Chatelier” probablemente originada a través de planteamientos didácticos a nivel de educación secundaria y probablemente se pueden convertir en obstáculos para la construcción y el aprendizaje de las zonas científicas “equilibrio químico” y “Le Chatelier”. La construcción de ideas en estas zonas del perfil, requiere de la construcción y comprensión del nivel micro de representación del equilibrio químico, que le permita a este grupo de participantes adquirir el nivel de abstracción necesario como para concebir al equilibrio químico como una situación dinámica en donde los reactivos y los productos conviven un solo sistema cerrado.

En la tabla 23, se muestra la distribución de los perfiles individuales de este grupo 2 de estudiantes participantes.

Tabla 23. Distribución de los perfiles conceptuales individuales del grupo 2 de estudiantes participantes

Perfiles	Estudiantes Participantes
Una zona	7
Dos zonas	14
Tres zonas	14
Cuatro zonas	8
Cinco zonas	3

Fuente: Información obtenida en la investigación

Tomando en cuenta los datos de la tabla 23, este grupo ha podido construir un número de zonas de perfiles mayor que el grupo 1 de participantes. Esto podría dar indicios de la influencia de los cursos de química universitaria desarrollados hasta este periodo, donde ocho de los cuarenta y seis estudiantes de este grupo, demuestran la presencia de la zona “equilibrio químico” y trece estudiantes la zona “Le Chatelier”. Admitiendo que es un número bajo de estudiantes que han podido construir ideas o conceptualizaciones en estas zonas, es importante señalar el bajo nivel de toma de consciencia para aplicar dichas concepciones al no lograr integrar una visión científica de los elementos que definen el equilibrio químico y no hacer uso del control de variables al aplicar el principio de Le Chatelier (Quílez, 1995; 1997a).

En la figura 2 se puede visualizar el perfil conceptual de este grupo, donde las zonas “igualdad” y “estática” no son tan diferentes en cuanto a su extensión, tomando en cuenta que la altura de cada zona es una representación cualitativa grosera tal como lo señala Mortimer (2000, p. 52). La presencia de estas zonas, representa la permanencia de ideas sobre el equilibrio químico relacionadas probablemente con su desarrollo histórico (Alemañ, 2012; Raviolo, 2007) y con planteamientos didácticos con énfasis en cálculos del reactivo limitante y en exceso, rendimiento porcentual, y cálculos de concentraciones en el equilibrio lo que justi-

fica la fuerte presencia de la zona “estequiométrica” (Raviolo, 2006; 2007; Moncaleano, 2008; Rocha, 2007) ya que es la zona con mayor altura representada en la figura 2, lo que indica que hay una gran tendencia de conceptualizar la situación de equilibrio químico, cuando hay un balance de la ecuación química.

Hay que advertir sobre la interpretación de representaciones tales como las figuras 1 y 2, donde las alturas o la extensión de cada zona es una aproximación cualitativa grosera tal como lo señaló Mortimer (2000) en su planteamiento del perfil conceptual. Cuanto mayor es la altura de una determinada zona del perfil, más fuerte es la característica de dicho concepto en el perfil como un todo, es decir, que las ideas pertenecientes a esta zona tienen un estatus dominante a la hora de conceptualizar al equilibrio químico en determinados contextos.

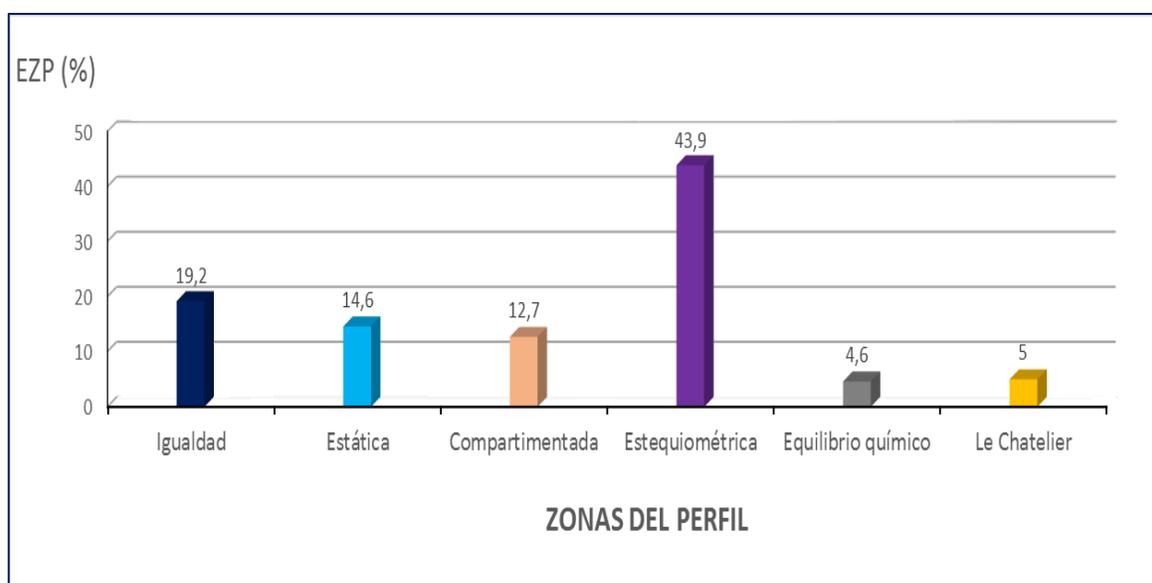


Figura 2. Perfil conceptual del equilibrio químico del grupo 2

Se puede sugerir para el desarrollo de los cursos de química universitaria subsiguientes al quinto semestre de la licenciatura, planteamientos didácticos dirigidos a desarrollar conceptualizaciones del equilibrio químico desde el abordaje de modelos centrados en la igualdad de las velocidades y en la energía, con elementos termodinámicos y control de variables, para favorecer el crecimiento de las

zonas “equilibrio químico” y “Le Chatelier” debido a su poca presencia observada en el gráfico 2.

El grupo 3 está formado por estudiantes del octavo, noveno y décimo semestre, es decir, finalizando la escolaridad de la licenciatura.

En la tabla 24 se encuentra representado la distribución de los perfiles individuales de este grupo.

Tabla 24. Distribución de los perfiles conceptuales individuales del grupo 3 de estudiantes participantes

Perfiles	Estudiantes Participantes
Una zona	1
Dos zonas	6
Tres zonas	5
Cuatro zonas	8
Cinco zonas	3

Fuente: Información obtenida en la investigación

Se puede deducir a partir de la información de la tabla 24, que al finalizar la escolaridad de la licenciatura, los estudiantes presentan mayor número de zonas en su perfil, lo que probablemente se deba a la influencia de los cursos de química universitaria desarrollados hasta esos períodos y a las oportunidades desde el punto de vista transdisciplinar del currículo, donde estos estudiantes han podido aplicar sus concepciones del equilibrio químico en otras áreas del saber cómo por ejemplo en cursos o asignaturas del área de concentración biología, para explicar fenómenos homeostáticos vitales para el mantenimiento y preservación de la vida (Guyton y Hall,.2006).

En la figura 3 se representa el perfil de este grupo de estudiantes donde la zona “igualdad” y “compartimentada”, tienen una presencia en el promedio de los demás grupos, es decir, que estas formas de ver o conceptualizar el equilibrio químico son persistentes a pesar del periodo de escolarización manteniéndose el estatus de estas concepciones en el perfil conceptual como un todo y posiblemente impidiendo la construcción de las zonas “equilibrio químico” y “Le Chatelier”. También se observa la fuerte presencia de la zona “estequiométrica” que se mantiene con una extensión poco diferenciada con respecto a la misma zona en los demás grupos.

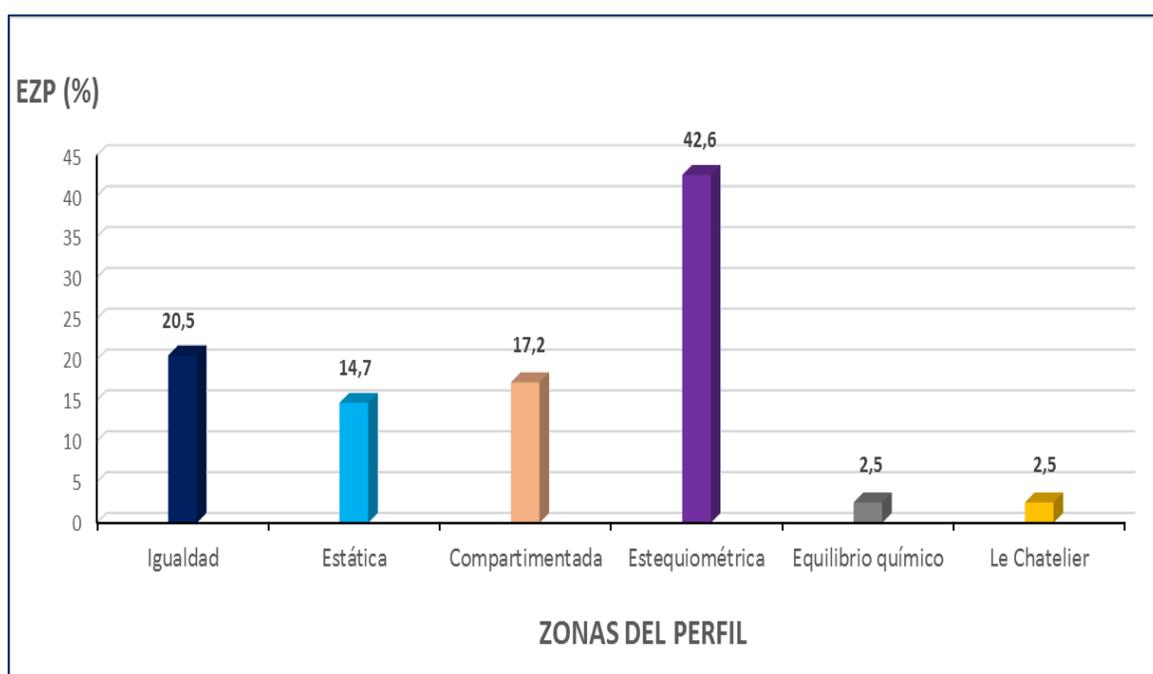


Figura 3. Perfil conceptual del equilibrio químico del grupo 3

Se puede observar en la figura 3, la poca presencia de las zonas “equilibrio químico” y “Le Chatelier” por lo que cobra importancia la conveniencia de replantear las estrategias desde el punto de vista didáctico, para lograr fortalecer el aprendizaje significativo del concepto de equilibrio químico, debido a la necesidad de responder al grado de complejidad conceptual que exige el equilibrio químico dentro del aprendizaje de la ciencia química. El aprendizaje de este concepto, reviste importancia al tratarse de futuros docentes que se preparan para desempeñarse en el campo de la enseñanza de la química.

Por último, se les aplicó el cuestionario a cuatro profesores graduados en la licenciatura en educación en ciencias físico- naturales en la concentración química y a quienes también se les aplicó la entrevista. Se puede observar que no hay mucha diferencia entre lo que postulan estos profesores y los estudiantes universitarios, tomando en cuenta las características de las respuestas dadas a los instrumentos aplicados.

En cuanto a los perfiles individuales, de esto profesores, se puede decir que, dos de ellos presentaron dos zonas que coincidiendo con la “estática y “Compartimentada” y los otros dos profesores presentan cinco zonas. En la figura 4, se muestra el perfil de este grupo de graduados, en donde se percibe la ausencia de concepciones de **la zona “equilibrio químico”** caracterizada por el uso de expresiones que contienen términos tales como: reversibilidad, igualdad en las velocidades en las reacciones directa e inversa y simultaneidad y que no aparecieron en este grupo de profesores.

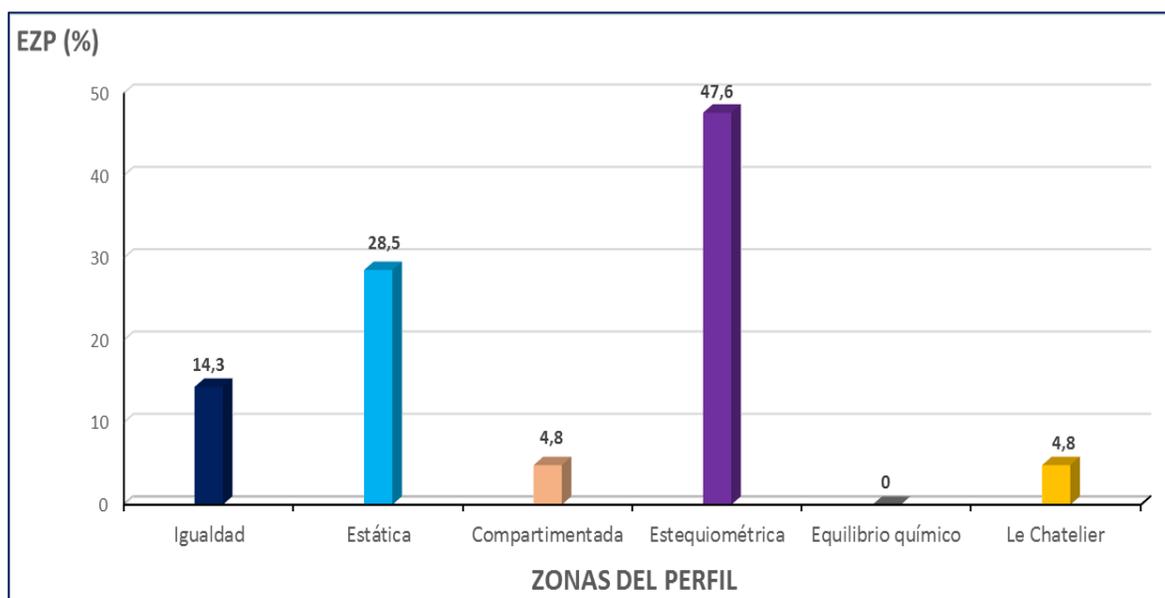


Figura 4. Perfil conceptual del grupo de profesores graduados

También se observa una presencia significativa de las **zonas “estática” y “estequiométrica”** las cuales pudieran guardar una relación conceptual reforzándose mutuamente, cuyo origen probablemente sea explicado a través plantea-

mientos didácticos con énfasis en el uso de la ecuación química en los períodos de escolaridad. Esto podría traer como consecuencia que los perfiles de estos profesores, pudieran influir en su práctica docente a través planteamientos didácticos en la enseñanza del tema del equilibrio químico. En relación con esta idea, es importante comentar la respuesta que da el Prof.3 al planteamiento de la pregunta 8 donde escoge como representación del sistema en equilibrio del ácido iodhídrico, la opción (a). Este profesor expresa lo siguiente: “según lo que se aprende y enseña elegiría la opción (a), la ecuación tradicional y lineal”.

Al tratar de interpretar esta expresión, se puede decir que la elección de su respuesta, puede tener su origen en planteamientos didácticos desde los cursos de química universitaria, donde se hace uso del modelo de la ecuación química sin que el profesor haga énfasis en la distinción entre el modelo y la realidad que representa. También en la expresión del profesor, parece indicar que usa la misma estrategia al enseñar el concepto de equilibrio químico, lo que podría explicar la presencia de ciertas zonas del perfil que caracterizan al primer grupo y que algunas de ellas podrían mantener su estatus en el perfil conceptual del equilibrio químico hasta el final del período de escolarización de la licenciatura.

Como ya se explicó anteriormente en la primera parte de las discusiones y análisis de los resultados, este grupo está caracterizado por desempañarse mayoritariamente en áreas relacionadas con la enseñanza de la biología, donde no se tiene la oportunidad de enseñar el tema de equilibrio químico y la interacción previa más próxima, es a nivel del quinto semestre en la licenciatura, donde se estudia el tema en detalle. Otro factor importante que pudiera estar influyendo en esta tendencia, es el hecho que los estudios a nivel de postgrado que tiene la mayoría de estos profesores no están relacionados con programas de formación en la ciencia Química, ni con la enseñanza de esta ciencia. Lo que puede traer como consecuencia que la formación de conceptos en áreas del saber no relacionadas con la Química, entren en competencia dentro de una ecología conceptual (Mortimer, 2000; Bello, 2004), que es capaz de darle un estatus mayor a conceptos contruidos recientemente en el tiempo, como consecuencia de las aplicaciones

que estos profesores han hecho de estos conceptos, en su formación académica de postgrado.

Según lo dicho anteriormente, hay que señalar la importancia de desarrollar y aplicar estrategias que permitan la construcción de las zonas “equilibrio químico” y “Le Chatelier”, que pudieran tener un basamento en experiencias prácticas, donde los estudiantes puedan aplicar el concepto de equilibrio químico y a la vez familiarizarse con actividades demostrativas que requieren de la explicación de ciertas situaciones problemáticas como por ejemplo las planteadas en la entrevista, a partir del concepto del equilibrio químico. También es requisito indispensable que los estudiantes desarrollen modelos, basados en el tratamiento matemático de variables físico químicas, para interpretar situaciones relacionadas con equilibrios perturbados o zona “Le Chatelier” advirtiendo en algunos casos la presencia de un sólido, como parte de las especies en el equilibrio, tal como lo plantean Quílez (1995; 1997a; 1997b 1998; 2002) y Levaine (1999).

La importancia que tiene el conocer los perfiles conceptuales del equilibrio químico de estos grupos de participantes, se centra en el diseño de estrategias que conciben el cambio conceptual como la construcción permanente de las zonas científicas del concepto, partiendo de las ideas conformadas en las zonas con menos poder explicativo del equilibrio químico, pero que pueden convivir con las ideas científicas del concepto, en una estructura cognitiva como un todo.

De acuerdo a la idea del perfil conceptual, la toma de consciencia del perfil, cobrará importancia cuando se requiera aplicar alguna conceptualización en un determinado contexto o en una determinada situación problemática, ya que la construcción de las **zonas “equilibrio químico” y “Le Chatelier”** no implica el abandono o la sustitución de las ideas concebidas en las otras zonas del perfil por ejemplo como la zona **“estequiométrica”** para abordar el balanceo de ecuaciones químicas.

Evolución de los perfiles conceptuales del equilibrio químico en los grupos de participantes

De acuerdo a la información que los grupos de participantes dieron en sus respuestas al cuestionario, las cuales fueron posteriormente categorizadas, se puede notar una modificación en los perfiles a medida que avanzamos desde el grupo 1 de los primeros semestres de la licenciatura hasta el grupo de profesores graduados. Tal como lo señalan Coutinho, El-Hani y Mortimer (2007a) la noción de perfil conceptual fue definida en relación con el individuo, lo que de cierta manera podría invalidar la posibilidad de atribuirle un perfil conceptual a un grupo, esta estrategia permite la identificación de tendencias en la evolución de los perfiles conceptuales. Los autores señalados afirman, que este tipo de análisis extiende los procedimientos metodológicos disponibles para el trabajo sobre perfiles conceptuales.

En la figura 5, podemos observar las tendencias en la evolución de las zonas del perfil que tiene cada grupo de participantes como las distintas maneras de conceptualizar el equilibrio químico.

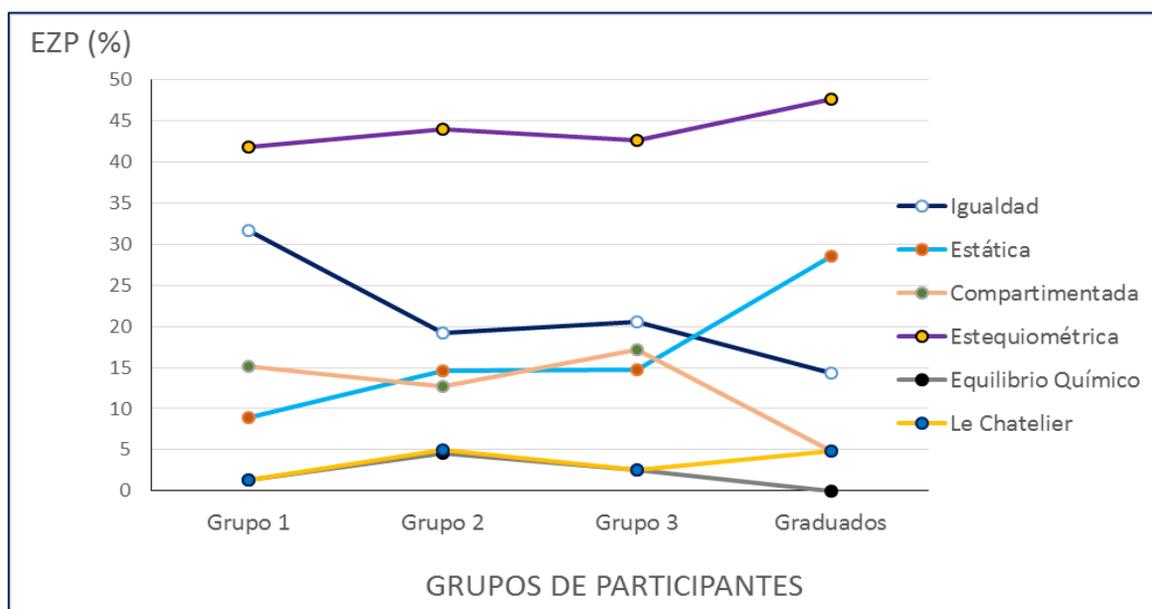


Figura 5. Evolución del perfil conceptual de Equilibrio Químico, desde el primer y segundo semestre (grupo1) de licenciatura en Educación hasta el grupo de graduados

Tal como se aprecia en la figura 5, una de las características que más resalta, es la tendencia con que aparece la zona “**estequiométrica**” respecto a la demás zonas del perfil. Esta tendencia se debe posiblemente al gran énfasis hecho

en el uso de la ecuación química, a través de planteamientos didácticos en los cursos de química universitaria para realizar cálculos estequiométricos relacionados con: balanceo de ecuaciones químicas, reactivo limitante y en exceso, rendimiento porcentual y concentraciones de las especies en el equilibrio.

También se puede notar en la figura 5, para todos los grupos, la poca construcción y estructuración de ideas en las **zonas “equilibrio químico”** y **“Le Chatelier”**. Esta tendencia posiblemente tendría que ver con el hecho que durante los cursos de química universitaria de la licenciatura, no se emplean estrategias que ayuden a los estudiantes construir conceptualizaciones del equilibrio químico dentro de modelos centrados en la igualdad de velocidades y en tratamientos físico químicos junto al control de variables (Raviolo, 2007; Quílez y San José, 1995; Quílez y Solaz, 1996). Por la razón explicada, probablemente los grupos participantes utilizaron ideas en la **zona “estequiométrica”** para contextos donde tendrían que haber argumentado sus respuestas con ideas o conceptualizaciones de las **zonas “equilibrio químico”** y **“Le Chatelier”**.

La zona **“igualdad”** se observa que tuvo una tendencia a disminuir desde el grupo 1 hasta el grupo de los graduados, probablemente debido a que el equilibrio químico deja de ser conceptualizado como una igualdad total de masa o pesos, sino que esas ideas son absorbidas en la zona **“estequiométrica”** donde la igualdad es vista como igualdad de átomos y moléculas.

La zona **“estática”** aumentó su presencia desde el grupo 1 hasta el grupo de graduados, donde se presenta con mayor intensidad debido a que concepciones estáticas son reforzadas como producto de su desempeño docente en sus cursos de biología, química del quinto año y ciencias de la tierra, donde el aspecto dinámico es poco desarrollado en sus estrategias de enseñanza. Este aspecto dinámico que caracteriza al equilibrio químico, está ligado al nivel de representación micro en función de desarrollar las **zonas “equilibrio químico”** y **“Le Chatelier”**.

La **zona “Compartimentada”** tuvo una presencia más o menos estable entre los grupos de estudiantes de la licenciatura, cuyo origen como ya se ha explicado anteriormente, se deba a ideas relacionadas con la balanza estequiométrica

arquimediana, ubicadas en el contexto del desarrollo histórico del concepto de equilibrio químico (Alemañ, 2012; Raviolo, 2007)

Se puede afirmar entonces, que el desarrollo y la construcción de ideas en las **zonas “equilibrio químico”** y **“Le Chatelier”** requieren del diseño y aplicación de estrategias de enseñanza y aprendizaje para adquirir el nivel de abstracción necesario en función de comprender aspectos como: el dinamismo, nivel de representación micro y el control de variables los cuales están íntimamente relacionados con el concepto de equilibrio químico.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como consecuencia de la aplicación del procedimiento descrito en el marco metodológico para dar cumplimiento con los objetivos propuestos en la investigación, se procedió al análisis de la información obtenida de donde se derivan una serie de características y consideraciones teóricas, que se corresponden con la definición y estructura del perfil conceptual del equilibrio químico en universitarios en Educación en ciencias físico naturales.

Con respecto al primer objetivo planteado en la investigación, se pudo identificar las distintas formas de conceptualizar al equilibrio químico, por parte de universitarios en Educación mención Ciencias Físico Naturales. En lo que corresponde a los grupos de estudiantes de la licenciatura, estos presentaron las categorías del perfil: “igualdad”, “estática”, “compartimentada”, “Estequiométrica”, “Equilibrio químico” y “Le Chatelier”. En lo que respecta al grupo de graduados, también presentaron las categorías de los estudiantes de la licenciatura, con excepción de la categoría “Equilibrio químico”. En general, se logró identificar distintas formas de ver y conceptualizar al equilibrio químico, en categorías que emergieron, producto del análisis hecho a las respuestas dadas por los participantes, a los instrumentos de recolección de información aplicados. Las categorías identificadas se convirtieron en las zonas del perfil y donde los participantes demostraron poca presencia de las zonas “Equilibrio químico” y “Le Chatelier”, debido a que en las respuestas analizadas pocos participantes lograron relacionar los elementos conceptuales que definen científicamente al equilibrio químico y aplicaron el principio de Le Chatelier sin control de variables físico-químicas, lo que podría indicar que no ha habido aprendizaje significativo de estas dos zonas del perfil, en el desarrollo curricular de la Licenciatura en Educación mención Ciencias Físico Naturales.

Se logró identificar e interpretar algunos obstáculos ontológicos y epistemológicos. En cuanto a los ontológicos, los participantes toman a la ecuación química como representación de la realidad de un sistema en equilibrio químico, sin distinguir el aspecto simbólico de la ecuación y la realidad que representa. Otro aspecto de características ontológicas, es que los participantes toman las velocidades directa e inversa como análogas a la tercera ley de Newton como similares a dos fuerzas que cuando una es aplicada, se desarrolla otra igual y en sentido

contrario, pero que puede ser un camino ganado hacia una concepción dinámica del equilibrio químico.

Los obstáculos epistemológicos estuvieron caracterizados por conceptualizaciones tales como: “igualdad” de pesos y de masas posiblemente relacionada con elementos de simetría (centro de masas, momento estático) del equilibrio mecánico y la balanza arquimediana; “estática” como si el sistema en equilibrio químico no ocurriera ningún tipo de interacción; “compartimentada” concibiendo a los reactivos y productos como dos sistemas separados y la idea “estequiometrica” donde las situación de equilibrio se da cuando hay un balance entre reactivos y productos.

Se logró interpretar la influencia de la toma de conciencia en el grupo de profesores graduados, cuando no hicieron uso de términos como: reversibilidad, simultaneidad, igualdad en las velocidades directa e inversa en situaciones problemáticas e incluso desconociendo las especies químicas que conforman algunas situaciones de equilibrio químico que están presentes en la vida cotidiana. Esta situación se evidencia probablemente por la falta de construcción de concepciones científicas que pertenezcan a las zonas “Equilibrio químico” y “Le Chatelier” del perfil.

Se presentaron los perfiles conceptuales del equilibrio químico en los universitarios participantes, con una fuerte presencia de las zonas: “Igualdad”, “Compartimentada” y “Estequiométrica” y poca presencia de las zonas: “Equilibrio químico” y “Le Chatelier”. El grupo 2 de participantes, fueron los que presentaron mayor presencia de las zonas “Equilibrio químico” y “Le Chatelier” probablemente debido a la cercanía de haber realizado algunos cursos de química universitaria. El grupo de profesores no presentaron zona “Equilibrio químico” a pesar que eran graduados en el área de concentración química. Probablemente, esto sea debido a que las áreas de desempeño docente en la educación secundaria, de estos profesores durante varios años, han sido en cursos que se alejan de la enseñanza del tema de Equilibrio químico y que en su vida como estudiantes no lograron alcanzar los niveles de razonamiento requeridos para hacerlo.

Por último se describió la evolución de los perfiles conceptuales, en los grupos de estudiantes y graduados observándose que las zonas “Equilibrio químico” y “Le Chatelier” son las menos presentes en los distintos grupos de participantes, y la zona “Estequiométrica” fue la que emergió con mayor intensidad, donde se demuestra el énfasis que se hace en el uso: de la ecuación química, de los cálculos estequiométricos y de la expresión de la constante de equilibrio desconociendo su origen dinámico, en el proceso de enseñanza y aprendizaje en los cursos de química universitaria de la licenciatura en Educación en ciencias físico naturales. Las zonas “Igualdad”, “Estática” y “Compartimentada” se mantuvieron relativamente con la misma intensidad desde el grupo 1 hasta el grupo de graduados.

La poca presencia de las zonas “equilibrio químico” y “Le Chatelier” probablemente se deba a la aplicación de planteamientos didácticos enfocados en aspectos cuantitativos, reforzando concepciones: estáticas, estequiométricas y compartimentadas del equilibrio químico. Otro aspecto que podría influir es el relacionado con conceptos en competición discutidos en algunas asignaturas de naturaleza distinta a los cursos de química universitaria, reforzando ideas estáticas del equilibrio químico, donde se utilizan ejemplos análogos con la vida cotidiana probablemente relacionados con el equilibrio mecánico, que no necesitan de un alto nivel de abstracción, tal como si lo requiere en el concepto de equilibrio químico. Es probable, que el estudiante de la licenciatura en Educación en ciencias físico naturales, tenga que desarrollar un alto nivel de abstracción, el cual es necesario para la comprensión y construcción de zonas científicas del perfil conceptual del equilibrio químico, debido a la alta carga conceptual que guarda con otros conceptos dentro de la ciencia Química que pudieran dar explicación a fenómenos estudiados desde otras ciencias.

Partiendo de la noción del perfil conceptual del equilibrio químico, se puede plantear el desarrollo de la formación conceptual de estos estudiantes de la licenciatura en Educación hacia un aprendizaje significativo de la ciencia Química a nivel universitario, factor que va a hacer crucial en su futura práctica docente en cualquier nivel educativo que se desempeñen.

RECOMENDACIONES

Esta investigación brinda elementos necesarios a ser tomados en cuenta por los docentes para hacer un replanteamiento de las estrategias de enseñanza de la ciencia Química a nivel universitario en la Facultad de Humanidades y Educación en particular y en el resto de las instituciones que tienen este tipo de enseñanza. Tomando en cuenta las características dadas a conocer del perfil conceptual del “equilibrio químico” en los grupos de participantes, por lo que se deben realizar esfuerzos para enfocar la actividad didáctica de manera que los estudiantes de la licenciatura en Educación en Ciencias Físico Naturales, puedan comprender los procesos y conceptos dentro de la ciencia Química, en particular el referido al equilibrio químico, ya que este complementa el estudio de los procesos de reacción química y los conceptos relacionados, como parte fundamental en la formación académica del futuro egresado de la Facultad de Humanidades y Educación en Ciencias Físico Naturales y en el área de concentración química.

Es importante señalar que, la planificación de la enseñanza de las ciencias en las distintas áreas que componen el pensum de la carrera en Educación en Ciencias Físico Naturales, se planteen objetivos de aprendizaje comunes que puedan ayudar a los estudiantes de la licenciatura, a adquirir los niveles de abstracción necesarios en el aprendizaje de conceptos tales como el equilibrio químico.

Es necesario el diseño y la aplicación de actividades de laboratorio que ayuden a comprender la situación de equilibrio químico y las modificaciones y perturbaciones que se le puedan hacer al sistema en situación de equilibrio. Para ello se deben dar ciertas condiciones de infraestructura de laboratorio, concibiendo la actividad de laboratorio como estrategia clave para ayudar a los estudiantes a desarrollar el nivel de abstracción necesario en la construcción de zonas científicas del perfil conceptual del equilibrio químico.

Otro aspecto importante es el relacionado con el aporte de las asignaturas referidas al área de matemática, ya que la construcción del concepto de equilibrio químico requiere por parte del estudiante, la adquisición de competencias referidas al cálculo diferencial e integral necesario en la construcción las zonas científicas del perfil conceptual del equilibrio químico.

De tal manera que dependiendo de una alta formación científica y didáctica durante el desarrollo del pènsum de la licenciatura en Educación en Ciencias Físico Naturales, los estudiantes podrán desempeñar de manera eficaz el papel que les corresponde como futuros docentes en ciencias naturales y en especial en Química.

REFLEXIONES E IMPLICACIONES

El proceso de enseñanza y aprendizaje del concepto de equilibrio químico dependerá por una parte de planteamientos didácticos efectivos y por la otra del uso de estrategias cognitivas y metacognitivas por parte del estudiante que le ayuden en la construcción de las zonas del perfil: “Equilibrio químico” y “Le Chatelier” tal como se requiere en este caso específico.

El proceso de aprendizaje del concepto de equilibrio químico va a depender, del vencimiento gradual de los obstáculos ontológicos y epistemológicos presentes en las distintas zonas del perfil conceptual, lo que implica abordar modelos centrados en la igualdad de las velocidades hasta llegar a un modelo centrado en la energía con el control de variables físico-químicas con su tratamiento matemático acorde, que permitan la construcción de conceptualizaciones en las zonas “equilibrio químico” y “Le Chatelier” del perfil de estos participantes.

La construcción de conceptualizaciones en las zonas “equilibrio químico” y “Le Chatelier” no implica una sustitución de las ideas de las otras zonas del perfil, sino que será la toma de conciencia de los participantes la que permita la aplicación de una idea particular del perfil en un contexto determinado. Este factor es importante para interpretar fenómenos naturales donde esté implicado el equilibrio químico con sistemas biológicos, ambientales y sistemas que impliquen el rompimiento de ese equilibrio en la producción de algún artículo manufacturado en la industria, donde se requiere que se apliquen ciertas ideas o maneras de conceptualizar el equilibrio químico de acuerdo al contexto o situación problemática que lo requiera.

De manera general conducir a los estudiantes a complejizar sus pensamientos para responder a planteamientos sistémicos como los que se presentan en la naturaleza.

REFERENCIAS

- Albert, M. J. (2007). *La investigación educativa: Claves teóricas*. Madrid: McGraw-Hill/ Interamericana de España, S.A.U.
- Alemañ, R. A. (2012). El concepto de equilibrio Químico. Historia y controversia. *An. Quím.* 108(1), 49-56
- Anderson, B. (1986). Pupils' Explanations of Some Aspects of Chemical. *Reactions.ScienceEducation*, 70(5): 549-563.
- Astolfi, J.P.(1994). El trabajo didáctico de los obstáculos, en el corazón de los aprendizajes científicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 206-216
- Ausubel, D.P. (1978). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas
- Bachelard, G. (1976). *La formación del espíritu científico*. 5 ed. México Siglo Veintiuno, editores, S.A.
- Bachelard, G. (2009). *La filosofía del no*. 2da. E.d. Buenos Aires: Amorrortu editores S.A.
- Bandeira, C.M.S. (2011). *A fossintese: estudo das concepções alternativas*. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciência Biológicas)- São Paulo:Universidad Presbiteriana Mackenzie, 59.
- Banerjee, A.C.(1991). Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium. *Int. J. Sci. Educ.*, 13 (4). 487-497
- Bello, S. (2004). Ideas previas y cambio conceptual. *Educación Química*, 15(3),210-217
- Bensaude- Vincent, B. y Stengers, I. (1997). *Historia de la Química*. Madrid: Addison- Wesley/ Universidad Autónoma de Madrid

- Berquist, W. y Heikkinen, H. (1990). Student ideas regarding chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 67(12), 1000-1003
- Bertelle, A.; Rocha, A. y Domínguez, J. M. (2014). Análisis de las discusiones de los estudiantes en una clase de laboratorio sobre equilibrio químico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 11(2), 114-134
- Bermejo, V. (2005). Microgénesis y cambio cognitivo: adquisición del cardinal numérico. *Psicothema*, 17(4), 559-562
- Bodner, G.M. (1987). I have found you an argument: the conceptual understanding of beginning chemistry graduate students. *Journal of Chemical Education*, 76, 543-547
- Brock, W.H. (1998). *Historia de la Química*. Madrid: Alianza
- Brown, A. L. (1987). *Metacognition, Executive Control, Self-Regulation and Other More Mysterious Mechanisms*. En F. E. Weinert y R. H. Kluwe (Eds), *Metacognition, Motivation, and Understanding*. Hillsdale: LEA.
- Caicedo, C.R. (2007). *Equilibrio Químico*. Barranquilla: Universidad del Atlántico. Facultad de Ciencias Básicas. Departamento de Química.
- Camacho, A. y Good, R. (1989). Problem solving and chemical equilibrium. *J. Res. Sci. Teach.*, 26 (3), 251-272
- Camilloni, A. (2003). *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza*, España: Gedisa
- Campanario, J. M. (2000). El desarrollo de la metacognición en el aprendizaje de las ciencias: Estrategias para el profesor y actividades orientadas al alumno. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 369-380
- Caravita, S. y Halldén, O. (1994). Reframing the problem of conceptual change, *Learning and Instruction*, 4, 89-111
- Carey, S. (1991). *Knowledge Acquisition: Enrichment or Conceptual Change*, in Carey, S. and Gelman R. (editors). *The Epigenesis of Mind: Essays on Biology and cognition*, Lawrence Erlbaum, New Jersey, USA, 257-292
- Carey, S. (1992). *The Original and Evolution of Every Concepts*, in Giere R, (editor). *Cognitive models of Science*, (Minnesota studies in the philosophy of Science vol. XV), Minneapolis, USA: University of Minnesota Press

- Carretero, M. (1984). *De la larga distancia que separa la suposición de la certeza*. En M. Carretero y J.A. García Madruga (Eds). *Lectura de psicología del pensamiento*. Madrid:Alianza
- 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
- Chauvet, F. (1994). *Construction d'une compréhension de la couleur intégrant sciences, techniques et perception: principes d'élaboration et évaluation d'une séquence d'enseignement*. Tese de Doutorado. Université Paris VII.
- Chi, M.T.H. (1992). *Conceptual change within and across ontological categories: examples from learning and discovery in science*. En R. Giere (Ed.). *Cognitive models of science*. Minnesota studies in the philosophy of Science. Mineapolis: University of Minnesota Press
- Chi, M.T.H.;Slotta, J. y De Leew, W. (1994). From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4(1), 27-43
- Chi, M.T.H. and Roscoe, R.D. (2003). *The process and challenges of conceptual change*. En: Limón, M.and Mason, L. *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice*. Kluwer Academic Publishers, London, 2003. p. 3-27.
- Chi, M.T.H.; Glaser, R. y Rees, E. (1982). *Expertise in problema solving*. En R.J. Sternberg (Ed.). *Advances in the psychology of human intelligence*. Hillsdale: Erlbaum
- Chiu, M. H.; Chou, C. C. y Liu, C. J. (2002). Dynamic processes of conceptual change: Analysis of constructing mental models of chemical equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(8), 688-712
- Claxton, G. (1984). *Live and learn*. Londres: Harper & Row. Traducción de C. González: *Vivir y Aprender*, Madrid: Morata/MEC, 1989.
- Coutinho, F. Á.; El-Hani, Ch. N. y Mortimer, E. F. (2007a). *Construcción de un perfil conceptual de vida*. Colección Aprendizaje N° 152. Madrid: A. Machado Libros, S.A.

- Coutinho, F.A.; Mortimer, E.F.; El-Hani, C.N. (2007b). Construção de um perfil para o conceito biológico de vida. *Revista Investigações em Ensino de Ciências*, 2(1), 115-137
- Covalada, R.; Moreira, M. A. y Caballero, M. C. (2005). Los significados de sistema y equilibrio en el aprendizaje de la mecánica. Estudio exploratorio con estudiantes universitarios. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(1). Consultado el 20 de junio de 2016 de la World Wide Web: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen4/ART1_Vol4_N1.pdf
- Cunha, M.C.C.; Rubinstein, R.O.T.; Coutinho, F.A.; El-Hani, C.N. y Mortimer, E.F. (2003). *Critérios que os alunos de Ciências Biológicas utilizam para a vida. Uma análise a partir do programa de pesquisa da vida artificial (V.A.)*. En Anais 55ª REUNIÃO ANUAL DA SBPC [CD-Room], Recife, São Paulo: SBPC/UFPE.
- De Voss, W.; Berkel, Van B. y Verdonk, A. (1994). A coherent conceptual structure of Chemistry curriculum. *Journal of Chemical Education*, 71(9), 743-746
- Díaz, P.O. (2005). Consciencia y Metacognición. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 23, 77-89
- Dick, J.G. (1979). *Química Analítica*. México: Editorial El Manual Moderno, S.A.
- Discoll, D.R. (1960). The Le Chatelier Principle. *Australian Science Teachers Journal*, 6(3), 7-15
- DiSessa, A. y Sherin, B. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, 20(10), 1155-1191
- Dos Santos, R. y Doménech, A. (2005). Una propuesta de perfil conceptual para el concepto de masa. En: Anales del IX EFE- Encuentro de Investigación en la Enseñanza de la física, Jaboticatubas, MG, SBF, 26 a 29 de Octubre de 2004, São Paulo: Consultado el 26 de mayo de 2010 de la World Wide Web: <http://www.fisica-interessante.com/artigo-perfil-conceitual-massa.html>
- Driver, R. y Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*. 10 (37-40)

- Driver, R.; Guesne, E. y Tiberghien, A. (1985). Children's ideas in science. Milton Keynes: open University Press. Trad. Cast. De P. Manzano: Ideas científicas en la infancia y la adolescencia. Madrid: Morata/MEC, 1989
- Duit, R. (1994). *Conceptual Change Approaches in Science Education*. Ponencia presentada. En el Symposium on Conceptual Change, Friedrich-Shiller, University of Jena. Alemania, Septiembre
- Duit, R. (1996). The constructivist view in science education –what it has to offer and what should not be expected from it. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(1), 40-75. Consultado el 12 de febrero de 2012 de la World Wide Web: http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID9/v1_n1_a3.pdf
- Fetherstonhaugh, T. y Treagust, D.F. (1992). Students understanding of light and its properties: Teaching to engender conceptual change. *Science Education*, 76, 653-672
- Flavell, J.H. (1976). *Metacognitive aspects of problem solving*. In L.B. Resnick (Ed.), *The nature of intelligence*, (231-235), Hillsdale: Erlbaum
- Flavell, J.H. (1981). *Cognitive monitoring*. IN W.P. Dickson (ED.), *Children's oral communication skill*. New York: Academic
- Flavell, J. H. (1985). *Cognitive development*. 2da. ed. Englewood, N.J.: Prentice-Hall
- Flores, F.(2002). *Ideas previas*. Consultado el 25 de mayo de 2011 y disponible en la web: <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048>
- Furió, C. y Furió, C. (2000). Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. *Educación Química*, 11(3), 300-308
- 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
- Furnhan, A. (1988). *Lay Theories. Everyday understanding of problems in the social sciences*. Oxford: Pergamon
- Gailunas, P. (1987): Proportionality in Science Education. *The School Science Review*, 68(245), 744-748.
- Galili, I. y Bar, V. (1992). Motion implies force: were to expect vestiges of the misconceptions?. *International Journal of Science Education*, 1, 255-271

- Garritz, A. (2000). De ideas previas y enseñanza de la Química. *Educación Química*, 11(2), 211-212
- Glaser, B.G. y Strauss, A. L. (1967). *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*, Chicago: Aldine
- Gobara, S. y Grea, J. (1997). *Un outil theorique pour caracteriser l'apprentissage des eleves: le profil conceptuel – un application à la notion de périodicité chez les élèves de 4^{ème} e t 3^{ème}*. Sixieme Seminaire National de Recherche en Didactique de la Physique, de la Chimie et de la Technologie. Lyon. (pp. 186-196).
- Goetz, J.P. y LeCompte, M.D. (1988). *Etnografia y diseño cualitativo en investigación educativa*. Madrid: Ediciones Morata, S.A.
- Gómez, M.A. (1996). Ideas y dificultades en el aprendizaje de la Química. *Alambique*, 7, 37-44.
- Gómez, V. y Guerra, P. (2012). Teorías implícitas respecto a la enseñanza y el aprendizaje: ¿ Existen diferencias entre profesores en ejercicio y estudiantes de pedagogía? *Estudios pedagógicos*, 38(1), 25-43
- Gómez, M.A; Pozo, J.; Sanz, A. y Limón, M. (1992). La estructura de los conocimientos previos en Química: una propuesta de núcleos conceptuales. *Investigación en la Escuela*, 18, 23-40
- Gorodetsky, M. y Gussarsky, E. (1986). Misconceptualization of the chemical equilibrium concept as revealed by different evaluation methods. *Eur. J. Sci. Educ.*, 8 (4), 427-441.
- Guarino, E. (2010). *Lentes fotocromáticos*. Consultado el 2 de junio de 2014 y disponible en la web: www.ebach.com.br/content/ABAAA7NEAA/lentes-fotocromáticos
- Guevara, M. y Valdez, R. (2004). Los modelos en la enseñanza de la Química: algunas dificultades asociadas a su enseñanza y a su aprendizaje. *Educación Química*, 15(3), 243-247

- Guyton, A. y Hall, J. (2006). *Tratado de Fisiología Médica*. Décima primera edición. Madrid: Elseiver España, S.A.
- Hackling, M.W. y Garnett, P.J. (1985). Misconceptions of chemical equilibrium. *European Journal of Science Education*, 7(2), 205-214
- Halminton, L.F.; Simpson, S.G. y Ellis, D.W. (1981). *Cálculos de Química Analítica*. 7 ed. México: LIBROS McGraw-Hill de México, S.A. de C.V.
- Hernández, R.; Fernández, C, y Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. 4^{ta} Ed. México: Mcgraw-Hill/ Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Hewson, P.W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 3, 383-396
- Hewson, P.W. (1982). A case study of conceptual change in special relativity: The Influence of prior Knowledge in learning. *European Journal of Science Education*, 4, 61-78
- Hewson, P.W. y Beeth, M.(1995). Enseñanza para un cambio conceptual: Ejemplos de fuerza y de movimiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 25-35
- Hewson, P.W. y Thorley, R. (1989). The conditions of conceptual change in the classroom. *International Journal of Science education*, 11(5), 41-553
- Hierrezuelo, A.; Montero, A. (1991). La ciencia de los alumnos. Málaga: Editorial Elseiver
- Huddle, P.A. y Pillay, A.E. (1996). An in-depth study of misconceptions in stoichiometry and chemical equilibrium at a South African University. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(1), 65-77
- Iglesias, A.; Oliva, J.M. y Rosado, L. (1990). Las interacciones entre estudiantes en el trabajo en grupos y la construcción del modelo corpuscular de la materia y el principio de conservación de la masa. *Investigación en la Escuela*, 12, 57-67
- Ihde, A.J. (1964). *The development of modern chemistry*. Nueva York: Harper&Row
- Inhelder, B. y Piaget, J. (1955). De la logique de l'enfant a la logique de l'adolescent. Paris: P.U.F. Trad. Cast. De M.T. Cevasco: de la lógica del niño a la lógica del adolescente. Buenos Aires: Paidós, 1972

- Jonhstone, A.; Mac Donald, J. y Webb, G. (1977). Chemical equilibrium and its conceptual difficulties. *Education in Chemistry*, 14, 169-171.
- Justi, R. y Gilbert, J.K.(1999). History and philosophy of science through models: the case of chemical kinetics. *Science and Education*, 8, 287-307
- Keil, F. (1992). Concepts, Kinds and cognitive development. Cambridge, Mass: MIT Press
- Kuhn, D. (1988). *Conclusion*. En Kuhn, D., Asmel, E. y O'Loughlin, M. (e.d.s.). *The Development of Scientific Thinking Skills*. California: Academic Press
- Kuhn, T. (1962). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica
- Ladenburg, A. (1911). Lectures on the History of Development of Chemistry since the time of Lavoisier (2 ed. German ed. y trans. by Dobbin, L.), J. Thin Publ., Edinburgh, p 315
- Lakatos, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes: philosophical papers*. (Ed. por J. Worall y G. Currie). Cambridge: Cambridge University Press. Traduc. Cast. De J.C. Zapatero: La metodología de los programas de investigación científica. Madrid: Alianza, 1983.
- Leicester, H.M.(1967). *Panorama histórico de la Química*. Madrid: Alhambra
- Levine, I.N. (1999). *Fisicoquímica*. 4ta. Ed. Vol. 1. Madrid: McGraw- Hill/ Interamericana de España, S.A.U.
- Llorens, J.A. (1991). *Comenzando a aprender química*. Madrid: Visor
- López, W. O.; Marquez, A. y Vera, F. (2008). Estrategias metacognitivas usadas en la lectura de un texto de química. *Orbis. Revista Científica en Ciencias Humanas*, 4(10), 49-80
- Mahan, B.H. (1977). *Química curso universitario*. 2da ed. Bogota: Fondo Educativo Interamericano, S.A.
- Marín, N. (1999). Delimitando el campo de aplicación del cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 80-92
- Martín del Pozo, R. y Rivero, A. (2001). Construyendo un conocimiento profesionalizado para enseñar ciencias en secundaria: Los ámbitos de investigación

- profesional en la formación inicial del profesorado. *Revista Interuniversitaria de Formación del profesorado*, 40, 63-79
- Martínez, R. (2007). Concepción de aprendizaje y estrategias metacognitivas en estudiantes universitarios de psicología. *Anales de Psicología*, 23(1), 7-16
- Matthews, M.R. (1992). Construtivism and sempiricism: an incomplete divorce. *Review of Educational research*, 22,299-307
- Maturano, C. I.; Solivares, M. A. y Macías, A. /2002). Estrategias cognitivas y metacognitivas en la comprensión de un texto de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 415-425
- Mayor, J.; Suengas, A. y Gonzalez, J. (1993). *Estrategias metacognitivas. Aprender a prender y aprender a pensar*, Madrid: Sintesis
- McDermontt, L.C. (1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics.today*, Julio, 24-34
- Mierzecki, R. (1991). *The historical development of chemical concepts*.Londres: Kluwer Academic Publisher
- Moncaleano, H. (2008). La enseñanza del concepto de equilibrio químico. Análisis de las dificultades y estrategias didácticas para superarlas. Universitat de València. Valencia: Servei de Publicacions
- Moncaleano, H.; Furió, C.; Hernández, J. y Calatayud, M.L. (2003). Comprensión del Equilibrio Químico y dificultades en su aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, 111-118
- Moore, F.J. (1953). *Historia de la Química*. Barcelona: Salvat
- Mora, A. (2002). Obstáculos epistemológicos que afectan el proceso de construcción de conceptos del área de ciencias en niños de edad escolar. *Inter Sedes*, 5 (3), 75-89
- Moreira, M.A. y Greca, I.M. (2003). Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. *Ciência e Educação*, 9(2), 301-315
- Moreno, A. (1989). *Perspectivas psicológicas sobre la consciencia*. Madrid: ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid

- Mortimer, E.F. (1992). Presupuestos epistemológicos para una metodología de ensino de química: mudança conceitual e perfil epistemológico. *Química Nova*, 15(3), 242-249
- Mortimer, E. F. (1994). *Evolução do atomismo em sala de aula: mudança de perfis conceituais*. São Paulo, Faculdade de Educação da USP. (Tese, Doutorado).
- Mortimer, E.F. (1995). Conceptual change or conceptual profile change?. *Science & Education*, 4(3), 267-285
- Mortimer, E.F. (1997). Para além das fronteiras da química: relações entre filosofia, psicología e ensino de química. *Química Nova*, 20(2), 200-207
- Mortimer, E.F. (2000). *Lenguaje y formación de conceptos en la enseñanza de las ciencias*. Vol. CL de la colección Aprendizaje, Madrid: A. Machado Libros, S.A.
- Mortimer, E.F. (2001). Perfil conceptual: formas de pensar y hablar en las clases de ciencias. *Infancia y Aprendizaje*, 24(4), 475-490.
- Mortimer, E.F. (2005). *Lenguaje y formación de conceptos en la enseñanza de las ciencias*, Vol. 50 de la colección aprendizaje. Madrid: A. MACHADO LIBROS, S.A.
- Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn Chemistry. *Journal of Chemical Education*. 69(3), 191-196.
- Níaz, M. (1995). Chemical equilibrium and Newton's third Law of motion: ontogeny/phylogeny revisited. *Interchange*, 26(1), 19-32
- Olivares, W.; Almeida, R.; Scharifker, B.; Agrifolio, G.; Iacocca, D.; De la Cruz, C.; Bifano, C.; Cortés, L.; Krestonosich, S. y Mostue, M. B. (1992). *Energía Entropía y Dinámica Química*. Monografías de Química. Caracas: Editorial Miró C.A.
- Osborne, R. y Freyberg P.(1985): *Learning in Science. The implications of Children's science*. Nueva Zelanda, Heinemann Publishers. Traducción al español: *El aprendizaje de las Ciencias. Implicaciones de la ciencia de los alumnos*. Madrid, Narcea, 1991
- Osborne, R. y Wittrock, M. (1983). Learning Science: a generative process. *Science Education*, 67, 490-508

- Oyarbide, M.A. (2004). Relaciones entre el desarrollo operativo, las preconcepciones y el estilo cognitivo. *Revista Iberoamericana de Educación*, 38,8
- Partington, J.R. (1964). *A history of chemistry*. Volume four. Londres: Macmillan.
- Paty, M. (1985). *Le Chatelier y la ley de los equilibrios químicos*. *Mundo Científico*, 5(49), 808-810
- Pérez, M.P.(1989). *Las teorías implícitas en el razonamiento inductivo*. Informe no publicado: Facultad de Psicología de la Universidad Autónoma de Madrid
- Piaget, J. (1971). *Psicología y Epistemología*. Barcelona: Ariel
- Piaget, J. y colaboradores (1974). *La prise de conscience*. Paris: P.U.F. (Trad. Castellana 1976. *La tomade consciencia*. Madrid: Morata
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P. & Gertzog, W. (1982). Accomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227
- Pozo, J.I. (1987). *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Madrid: Visor
- Pozo, J.I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid Morata
- Pozo, J.I. (1999). Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17, 513-520
- Pozo, J.I. (2007). *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia*, Vol.152 de la colección aprendizaje. Madrid: A. MACHADO LIBROS, S.A.
- Pozo, J.I. (2013). Las teorías implícitas sobre el aprendizaje y la enseñanza. Consultado el 02 de mayo de 2016 y disponible en la web: <http://itzelgarza-portafoliodeevidencias.blogspot.com/2013/06/las-teorias-implicitas-sobre-el.html>
- Pozo, J.I. y Carretero, M. (1989). *Las explicaciones causales de expertos y novatos en Historia*. En M. Carretero; J.L. Pozo y M. Asensio (Eds). *La enseñanza de las ciencias sociales*. Madrid: Visor
- Pozo, J.I. y Carretero, M. (1992). *Causal theories, reasoning strategies, and conflict resolution by experts and novices in newtonian mechanics*. En A. Demetriou, M. Shayer, y A. Efklides, (eds.), *Neo-Piagetian Theories of Cogni-*

- tive Development. Implications and Applications for Education. Londres: Routledge
- Pozo, J.I. y Gómez, M.A. (1994). *La solución de problemas en ciencias de la naturaleza*. En: Pozo J.I. (Ed.). *La solución de problemas*. Madrid: Santillana
- Pozo, J.I. y Gómez, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencias. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: ediciones Morata, S.L.
- Pozo, J.I. y Gómez, M.A. (2002). La adquisición del conocimiento científico ¿Una prótesis cognitiva?, *Innovación y Ciencia*, 10, (3-4), 34-43
- Pozo, J.I.; Gómez, M.A. y Sanz, A. (1993). *La comprensión de la química en la adolescencia*. Memoria de investigación. CIDE/Universidad Autónoma de Madrid
- Pozo, J.I., Pérez, M. del P., Sanz, A. y Limón, M. (1992). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia como teorías implícitas. *Infancia y aprendizaje*, 57, 3-22
- Pozo, J.I. y Rodrigo, M. (2001). Del cambio de contenido al cambio representacional en el conocimiento conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 24, 407-423
- Pozo, J.I.; Gómez, M.A.; Limón, M.; Sanz, A. (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: Las ideas de los adolescentes sobre la química*. Servicio Publicaciones MEC.
- Pozzuto, L y Borba, T. (2011). Um proposta de perfil conceitual para o conceito de fotossíntese. Trabajo de grado. São Paulo. Universidade Presbiteriana Mackenzie
- Quílez, J. (1995). Una formulación para un principio: Análisis histórico del principio de Le Chatelier. *Revista Mexicana de Física*, 41, 586-598
- Quílez, J. (1997a). El principio de Le Chatelier como regla cualitativa: un obstáculo epistemológico en el aprendizaje del equilibrio químico. *Infancia y Aprendizaje*, 78, 73-86
- Quílez, J. (1997b). Superación de errores conceptuales del equilibrio químico mediante una metodología basada en el empleo exclusivo de la constante de equilibrio. *Educación Química*, 8(1), 46-54

- Quílez, J. (1998). Persistencia de errores conceptuales relacionados con la incorrecta aplicación del principio de Le Chatelier. *Educación Química*, 9(6), 367-377
- Quílez, J. (2002). Aproximación a los orígenes del concepto de equilibrio químico: algunas implicaciones didácticas. *Educación Química*, 13(2), 101-112
- Quílez, J. (2006). Análisis de problemas de selectividad de equilibrio químico: Errores y dificultades correspondientes a los libros texto, alumnos y profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 219-240
- Quílez, J. y Sanjosé, V. (1995). Errores conceptuales en el estudio del equilibrio químico: Nuevas aportaciones Relacionadas con la incorrecta aplicación del principio de Le Chatelier. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 72-80
- Quílez, J. y Solaz, J. (1995a). Evolución histórica del principio de Le Chatelier. *Cad. Cat, Ens. Fís.*, 12(2), 123-133
- Quílez, J. y Solaz, J. (1995b). Students' and teachers' misapplication of Le Chatelier's principle: implications for teaching of chemical equilibrium. *J, Res. Sci. Teach.*, 32(90), 40-45
- Quílez, J. y Solaz, J. (1996). Una formulación sencilla, cuantitativa y precisa para el principio de Le Chatelier. *Educación Química*, 7(4), 202-208.
- Quílez, J., Solaz, J.J., Castelló, M. y Sanjosé, V. (1993). La necesidad de un cambio metodológica en la enseñanza del equilibrio químico. Limitaciones del principio de Le Chatelier. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(3), 281-288
- Raviolo, A. (2003). Modelos históricos sobre el equilibrio químico. *Educación Química*, 9(3), 17-26
- Raviolo, A. (2005). *Enseñanza y aprendizaje de modelos sobre el equilibrio químico. Una propuesta didáctica con alumnos universitarios españoles y argentinos*. Tesis Doctoral. Madrid: Facultad de Educación. Universidad Complutense de Madrid.
- Raviolo, A. (2006). Las imágenes en el aprendizaje y en la enseñanza del equilibrio químico. *Educación Química*, 17(x), 300-307

- Raviolo, A. (2007). Implicaciones Didácticas de un estudio histórico sobre el concepto equilibrio químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(3), 415-422
- Raviolo, A. y Garritz, A. (2007). Analogías en la enseñanza del equilibrio. *Educación Química*, 18(1), 16-29
- Raviolo, A.; Gennari, F. y Andrade, J. (2000). Interesantes problemáticas en el tema equilibrio químico. *Educación Química*, 11(4), 408-411
- Raviolo, A. y Martínez, M. (2005). El origen de las dificultades y de las concepciones alternativas de los alumnos en relación con el equilibrio químico. *Educación Química*, 16(x), 159-166
- Raviolo, A. y Martinez, M.M. (2003). Una revisión sobre las concepciones alternativas de estudiantes en relación con el equilibrio químico. Clasificación y síntesis de sugerencias didácticas. *Educación Química*, 14(3), 60-66
- Raviolo, A.; Baumgartner, E.; Lastres, L. y Torres, N. (2001). Logros y dificultades de alumnos universitarios en equilibrio químico: uso de un test con proposiciones. *Educación Química*, 12(1), 18-26
- Ribeiro, E.M. y Mortimer, E.F. (2004). Un perfil conceptual para entropía y espontaneidad: una caracterización de las formas de pensar y hablar en el aula de Química. *Educación Química*, 15(3), 218-233.
- Rocha, A. L. (2005). Algunas reflexiones sobre la Química y su enseñanza en los niveles educativos preuniversitarios. En "*Las disciplinas, las áreas: problemática en su enseñanza*". Serie de cuadernos de Educación y Prácticas Sociales. CIPTE-UNCPBA
- Rocha, A. L. (2007). *Diseño de una propuesta didáctica y su contribución a la enseñanza y aprendizaje del tema de Equilibrio Químico, para alumnos que ingresan en la Universidad*. Tesis Doctoral. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela. Facultad de Ciencias de la Educación. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales
- Rocha, A., García, E., Rodeja, F. y Domínguez, J.M. y (2000). Dificultades en el aprendizaje del equilibrio químico. *ADAXE*, 16, 163-178.

- Rocha, A.; Scandroli, N.; Domínguez, J.M. y García, E. (2000). Propuesta para la enseñanza del equilibrio químico. *Educación Química*, 11(3), 343-352
- Rocha, J. (2016). Equilibrio químico em lentes fotossensíveis. Consultado el 25 de junio de 2016 y disponible en la web: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/equilibrio-quimico-lentes-fotossensiveis.htm>
- Rodrigo, M.J. (1985). Las teorías implícitas en el conocimiento social. *Infancia y Aprendizaje*, 31-32, 145-156
- Rodrigo, M.J., Rodríguez, A. y Marrero, J. (1993). *Las teorías implícitas. Una aproximación al conocimiento cotidiano*. Madrid: Visor
- Rodríguez M., M. (1999). *Conocimiento previo y cambio conceptual*. Buenos Aires: AIQUE
- Rodríguez, G.; Gil, J. y García, E. (1999). *Metodología de Investigación Cualitativa*. 2^{da} Ed. Málaga, España.
- Ruiz, R. (2004). *Historia de la Psicología y sus Aplicaciones*. México. Consultado el 30 de enero de 2009. Disponible en la web, <http://www.eumed.net/libros/2007b/288/43.htm>
- Schnotz, W., Vosniadou, E. y Carretero M. (2006). *Cambio conceptual y educación*. Buenos Aires: AIQUE
- Solarte, M. C. (2006). Los conceptos científicos presentados en los textos escolares: son consecuencia de la transposición didáctica. *Revista Electrónica de la Red de investigación Educativa*. 1(4): 1-12. Disponible en: <http://revista.iered.org>
- Solsona, N., Izquierdo, M. y De Jong, O. (2002). Exploring the development of students' conceptual profiles of chemical change. *International Journal of Science Education*, 25 (1): 3-12.
- Soto, C.A. (2002). *Metacognición, Cambio Conceptual y Enseñanza de las Ciencias*. Bogotá: Magisterio

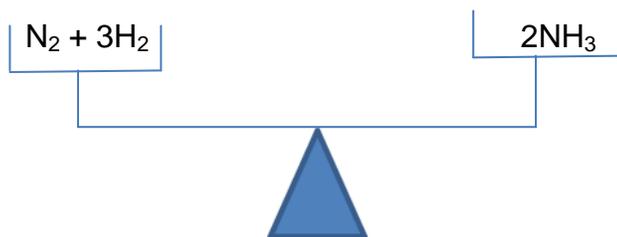
- Spelke, E. (1991). *Physical knowledge in infancy: Reflections on Piaget's Theory*. En Carey, S. Gelman, R. (eds.), *The Epigenesis of mind. Essays on Biology and Cognition*. Hillsdale, NJ: LEA
- Stavy, R. (1988). Children's conception of gas. *International Journal of Science Education*, 10(5), 533-560
- Strike, K.A. y Posner, G.J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. En R. Duschl & R. Halminton (Eds). *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*. Albany, N.Y, SUNY Press, 147-176.
- Taylor, S.J. y Bogdan, R. (2000). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. (3^{era} ed). Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A.
- Tulviste, P. (1991). *The cultural-historical development of verbal thinking*. New York: Nova Science
- Van Driel, J. y Gräber, W. (2002). The teaching and learning of chemical equilibrium. En Gilbert, J.K. et al (eds), *Chemical Educations: Towards research-based Practice*, Kluwer Academic Publishers, 271-292
- Van Driel, J.H. ; De Vos, W. y Verloop, N. (1998). Relating students' reasoning to the history of science: the case of chemical equilibrium. *Research in Science Education*, 28(2), 187-198
- Viggiano E. y Rodrigues de Mattos, C. (2008). Evaluando la utilización de las zonas de perfil conceptual de aprender y enseñar usadas en diferentes contextos. XI Encuentro de Investigación en Enseñanza de Física- Curitiba Brasil. Consultado el 20 de febrero de 2010 de la World Wide Web: <http://www.cienciamao.if.usp.br/dados/epef/aliandoutilizacaodasz.trabalho.pdf>
- Vosniadou, S. (1994a). Universal and culture-specific properties of children's mental models of the earth. En : L. Hirschfeld y S. Gelman (eds). *Mapping the mind*. Cambridge, Ma: Cambridge University Press
- Vosniadou, S. (1994b). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69

- Vosniadou, S. y Brewer, W.F. (1992). Development of scientific concepts in childhood, en E. Hanfman y G. Vakar (Eds). *Thought and Language* (82-118). Cambridge, M.A.: MIT Press
- Vosniadou, S.; Ioannides, C.; Dimitrakopoulou, A. y Papademetriou, E. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science, *Learning and Instruction*, 11, 381-419
- Voss, J. F. (1986). Social studies. En R. F. Dillon y R. J. Sternberg (Eds). *Cognition and Instruction*. Londres: Academic Press
- Vygotski, L.S. (1962). *Thought and language*. Cambridge: MIT Press
- Vygotski, L.S. (1973). *Aprendizaje y desarrollo intelectual en la edad escolar*. Psicología y Pedagogía. Madrid: Akal
- Vygotski, L.S. (1981). *Pensamiento y Lenguaje*. Buenos Aires: La Pléyade
- Vygotski, L.S. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Editorial Crítica S.A.
- Wertsch, J. (1988). *Vygotsky y la formación social de la mente*. Barcelona: Paidós
- Wertsch, J.V. y Stone, C.A. (1985). *The concept of internalization in Vygotsky's account of the genesis of higher mental functions*. In J. Wertsch (Ed.), *Culture, communication and Cognition: Vygotskian Perspectives*. Cambridge: Cambridge University Press
- Wheeler, A.E. y Kass, H. (1978). Student's misconceptions in chemical equilibrium. *Sci. Educ.*, 62(2), 223-232
- White, T.R. y Gunstone, F.R. (1989). Metalearning and conceptual change. *International Journal Science Education*, 11, 577-586

ANEXO 1

CUESTIONARIO

1. Describa que significa para usted la palabra "Equilibrio"
2. El modelo que se muestra a continuación, ¿es una representación de un equilibrio químico? ¿Por qué?

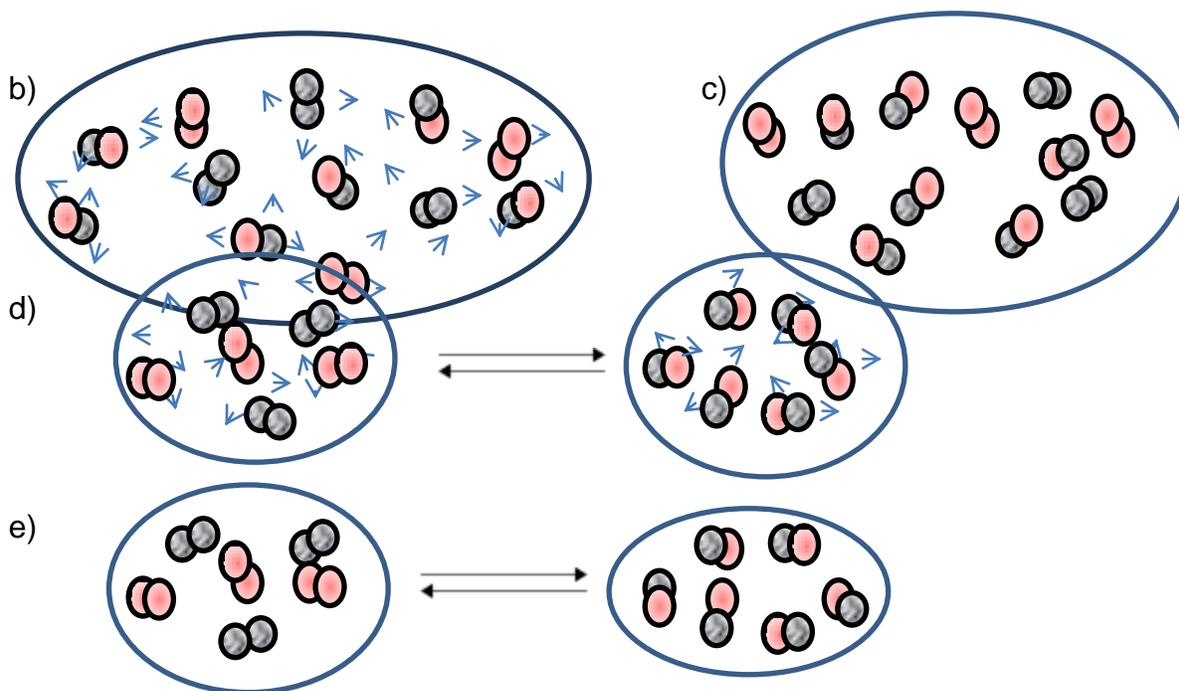


3. ¿A cuál de las siguientes situaciones se aproxima más el equilibrio químico?
 - a) Equilibrio mecánico
 - b) Equilibrio Ecológico
 - c) Equilibrio Económico
 - d) Equilibrio Social

4. ¿Cuáles serían las condiciones que se deben cumplir entre los átomos, iones y moléculas para que en una reacción química estén en equilibrio químico? Explicar su respuesta

8.- ¿Cuál sería el sistema que representa a la reacción de hidrógeno con el Iodo, para obtener el ácido iodhídrico, $[H_2 (g) + I_2 (g) \rightleftharpoons 2HI (g)]$

si:  representa el átomo de Iodo y  al átomo de hidrógeno:



9) Tomando en cuenta la situación que usted escogió en la pregunta 8, explique por qué cada una de las demás situaciones no son adecuadas para describir la de equilibrio químico planteado

12) Dado que la siguiente ecuación representa el sistema en equilibrio:



Se le introduce una cantidad de $NH_3(g)$ ¿Cómo el sistema alcanza de nuevo el equilibrio?

ANEXO 2

ENTREVISTA

- 1) Qué significa la palabra “equilibrio”
- 2) Qué significa para usted un sistema en “equilibrio químico”
- 3) ¿A cuál de las siguientes situaciones se aproxima más el equilibrio químico? Explique por qué.
 - a) Equilibrio mecánico
 - b) Equilibrio Ecológico
 - c) Equilibrio Económico
 - d) Equilibrio Social
- 4) ¿Por qué considera usted que es importante, para el cuerpo humano como sistema, el equilibrio químico?
- 5) El proceso de desarrollo del ser humano desde su nacimiento hasta su muerte, es considerado ¿un proceso en equilibrio químico o un proceso fuera del equilibrio? Justifique
- 6) Cuando una persona expresa: “tengo acidez estomacal”: ¿De qué manera ha sido perturbado el equilibrio químico de su sistema digestivo? ¿Cómo se puede corregir dicha perturbación? Explique su respuesta
- 7) Al destapar una bebida gaseosa, se experimenta el escape de un gas. Explique

¿Cómo afecta este hecho, al equilibrio químico en la solución que queda en el recipiente?

8) Los lentes fotocromáticos son lentes con cristales que cambian de color en función de la intensidad de la luz, es decir, cuando una persona que usa este tipo de anteojos está dentro de una residencia, los cristales son prácticamente incoloros, pero cuando la persona sale de la residencia, y se expone a la luz, los cristales tienden a ponerse de un color oscuro. ¿Por qué cree usted que ocurre dicho fenómeno? ¿Cuál piensa usted que es la explicación al efecto ocurrido?
