



**LA ENSEÑANZA DE LAS LEYES PONDERALES DESDE UN ENFOQUE
HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICO: UN ESTUDIO DE CASO INSTRUMENTAL
SOBRE SU INCIDENCIA EN LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS MENTALES
POR PARTE DE LOS ESTUDIANTES DE GRADO DÉCIMO**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
MAGISTER EN EDUCACION**

Autora

SILENA TAPIA MATURANA

Dirigido por:

Dr. JUAN DIEGO CARDONA RESTREPO

Dr. TARCILLO TORRES VALOIS

Universidad de Antioquia

Facultad de educación

Departamento de Educación Avanzada

Grupo de Investigación en Educación en Ciencias Experimentales y

Matemáticas

Andes

2013

*A mi madre Elsa María, mi más
gran ejemplo de superación y a mis hijas el mejor ejemplo que les puedo dar.*

A Wilner por estar conmigo a lo largo del camino.

AGRADECIMIENTOS

En este párrafo quiero aprovechar para agradecer profundamente a todas aquellas personas que se cruzaron en mi camino y me sirvieron de apoyo para la culminación de este proceso de formación. De manera muy especial, agradezco a mis asesores Juan Diego Cardona, Tarcilo Torres Valois y Fanny Angulo por la paciencia, dedicación y amor con la que me orientaron durante todo este tiempo, pues su trabajo es el ejemplo de lo que un verdadero maestro puede crear.

A mi familia, que siempre han estado conmigo en cada etapa de vida y han confiado en mis capacidades.

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	5
1.1. Resumen.....	5
1.2. Justificación.....	5
1.3. Antecedentes.....	8
1.3.1. Antecedentes sobre historia y epistemología de las ciencias.....	8
1.3.2. Antecedentes sobre modelos y modelización en la ciencia.....	10
1.3.3. Antecedentes sobre el contexto.....	12
1.4. Planteamiento del problema de investigación.....	13
1.5. Objetivos de investigación.....	15
2. Marco teórico	17
2.1. Historia y epistemología de las ciencias.....	20
2.1.1. Historia y epistemología de las leyes ponderales de la química.....	21
2.1.2. Enfoque histórico y epistemológico.....	26
2.2. Los modelos en la ciencia y en educación en ciencias.....	35
2.2.1. Perspectiva de Giere sobre los modelos de la ciencia.....	36
2.2.2. Modelos y modelización en educación en ciencias.....	39
3. Diseño metodológico	51
3.1. Tipo de diseño.....	52
3.2. Participantes y contextos.....	54
3.3. Recolección de la información.....	57
3.3.1. La observación.....	57
3.3.2. Los cuestionarios.....	58
3.3.3. La entrevista.....	59
3.4. La unidad didáctica.....	60
3.5. Sistematización y análisis de datos.....	62
4. Resultados y análisis	69
4.1. Procedimiento para el análisis.....	71
4.2. Análisis por categoría.....	71
4.2.1. Análisis categoría uno “conceptos básicos”.....	73
4.2.2. Análisis categoría dos “tipo de expresión del modelo mental”.....	84

4.2.3. Análisis categoría tres “nivel del modelo”.....	90
4.2.4. Análisis categoría cuatro “comprensión histórica-epistemológica del modelo”.....	94
4.2.5. Análisis categoría cinco “factores que inciden en la modelización”.....	102
4.2.6. Análisis comparativo entre modelos mentales de los estudiantes y los modelos conceptuales de la ciencia.....	109
5. Conclusiones.....	117
5.1. Descripción de los modelos mentales de los estudiantes.....	117
5.2. Dificultades presentadas durante el proceso de investigación.....	122
5.3. Perspectivas futuras de investigación.....	124
6. Referentes bibliográficos.....	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No 1: formato para transcripción propuesta por Martínez (1998).....	63
Tabla No 2: sistema de categorías.....	65
Tabla No 3: análisis de los modelos mentales v/s los modelos conceptuales.....	72
Tabla No 4: unidades de análisis agrupadas.....	72
Tabla No 5: modelos mentales v/s modelos conceptuales “SM”.....	110
Tabla No 6: modelos mentales v/s modelos conceptuales “OV”.....	112
Tabla No 7: modelos mentales v/s modelos conceptuales “AA”.....	113
Tabla No 8: modelos mentales v/s modelos conceptuales “DG”.....	114
Tabla No 9: modelos mentales v/s modelos conceptuales “JR”.....	115
Tabla No 10: modelos mentales v/s modelos conceptuales “HA”.....	115

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafica No 1: Resumen marco teórico.....	19
Grafica No 2: fases de la unidad didáctica.....	61
Grafica No 3: análisis categoría conceptos básicos.....	74
Grafica No 4: análisis categoría tipo de expresión del modelo mental.....	85
Grafica No 5: análisis categoría nivel del modelo.....	91
Grafica No 6: análisis categoría comprensión histórica-epistemológica del modelo.....	95
Grafica No 7: Análisis categoría factores que inciden en la modelización.....	103

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen No 1: tabla de pesos atómicos de Dalton.....	25
--	----

1. INTRODUCCIÓN

1.1. RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo analizar las contribuciones de un enfoque histórico y epistemológico en el proceso de modelización de las leyes ponderales de la química, por parte de los estudiantes, mediante la implementación de una unidad didáctica como instrumento de enseñanza, e identificar las dificultades que encuentran los estudiantes participantes para el aprendizaje de las leyes ponderales.

Para lograr este propósito, el diseño metodológico formulado fue un estudio de caso en el que participaron cuarenta estudiantes, de los cuales seis de ellos sirvieron como sujetos informantes. Los datos se recogieron de las producciones escritas y el discurso oral de los participantes a través de instrumentos tales como cuestionarios, entrevistas y la observación participante en la fase inicial y final de la implementación de la unidad didáctica.

Como resultado del análisis de los datos obtenidos llegamos a la conclusión de que, el enfoque utilizado contribuye en el proceso de modelización de los estudiantes, en la medida en que estos incorporan los modelos científicos que han estudiado con ayuda del componente histórico y epistemológico, para elaborar explicaciones fundamentadas de los fenómenos naturales. Además, se encontró que el lenguaje propio de la química, así como, la comprensión de la naturaleza atómica de la materia se manifiesta como una dificultad a la hora de modelizar los conceptos sobre las leyes ponderales.

Palabras claves: Modelos mentales, modelización, historia y epistemología.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La necesidad de investigar sobre los conocimientos con los que cuentan los estudiantes y que traen al aula de clase, al igual que la manera como los docentes aprovechan estos saberes a favor de la enseñanza y el aprendizaje, ha conducido a la incorporación de una perspectiva psicológica en los estudios en el campo de la educación en ciencias (Moreira, Greca y Rodríguez, 2002; Greca y Moreira, 1998).

Es así que, los procesos de investigación en el campo de la educación en ciencias en la actualidad han dado un giro hacia la manera como los estudiantes aprenden y el análisis de las contribuciones o incidencias que puedan tener en las prácticas pedagógicas de los maestros, permitiéndoles a los alumnos el acceso al conocimiento escolar. Ciertamente, el aprendizaje es un proceso que se lleva a cabo en un contexto determinado en el interior de la mente del estudiante. Es por esto, que el centro de interés en los fenómenos educativos haya dado un giro hacia los estudiantes y la manera como estos aprenden, y es hacia aquí, donde la didáctica de las ciencias ha orientado sus estudios en los últimos años (Gallego-Badillo, Gallego-Torres y Pérez-Miranda, 2009; Osborne, Simon y Collins, 2003).

De otro lado, los variados obstáculos que en materia de enseñanza y de aprendizaje de las ciencias se han identificado en múltiples estudios, reflejan la necesidad de generar nuevos enfoques de enseñanza que favorezcan las rutas de aprendizaje de los estudiantes (Gil *et al.*, 2005). De todo esto se coligen algunas situaciones que a nuestro juicio y el de algunos autores servirían de justificación para la introducción del enfoque histórico y epistemológico en este estudio.

En esta perspectiva, en la que se vinculan las teorías sobre la historia y la epistemología de las ciencias con los postulados sobre modelos mentales y modelización, se observa que se vuelve relevante para el diseño de propuestas en el campo de la enseñanza y aprendizaje, en la medida en que su núcleo central se orienta a generar más que aprendizajes de contenidos, el desarrollo de mecanismos racionales para la comprensión de los fenómenos y situaciones del

mundo. Siendo así, se les podrá proveer a los alumnos de herramientas para encontrar sus propias rutas de conocimiento, rutas que se encuentran inmersas en las representaciones o modelos mentales que estos construyen del mundo y que son exteriorizadas (Giere, 2004; Moreira, Greca y Rodríguez, 2002; Greca y Moreira, 1998).

Ahora bien, si los modelos mentales son un puente entre la teoría y la realidad, porque no fortalecer ese puente con un análisis histórico de la construcción de dichos conocimientos y por tanto de sus modelos. Si pensamos en la historia de la filosofía, esta inicia con una indagación o interés del ser humano por comprender y explicar el mundo, y su percepción sobre este. Entonces, resulta relevante para el aprendizaje de cualquier ciencia, partir de estos supuestos para retomar el sentido original del conocimiento, mejorando la comprensión y el aprendizaje (Bunge, 2007). Paradójicamente, la enseñanza de las ciencias en las escuelas de educación básica, media y universitaria, está orientada hacia las respuestas, las que generalmente se encuentran desligadas de las preguntas o cuestiones a las cuales obedecen. Por ejemplo, en el caso de las leyes ponderales de la química, se observa que los libros de texto que se utilizan para su incorporación en las clases no hacen referencia a los procesos históricos y epistemológicos que las suscitaron, y con ello los estudiantes pierden de vista las grandes preguntas y formulaciones que dieron origen a su elaboración (Osborne, Simon y Collins, 2003).

Estos y otros factores han llevado a que en los procesos de enseñanza y aprendizaje, se privilegien las respuestas y se coarten las preguntas, y son estas últimas, las que han detonado en el transcurso de la historia de la ciencia, el ingenio de los seres humanos para comprender y explicar los fenómenos del mundo. Entonces, para estimular a los estudiantes a generarse nuevas preguntas, en esta investigación, se opta por una perspectiva que aprovecha las aportaciones de la historia, la epistemología y los procesos de modelización, conduciendo a que los estudiantes articulen las preguntas de la ciencia, en pro de la formación de modelos mentales fundamentados en los modelos científicos.

Ahora veamos, cuando los científicos se formulan preguntas, lo hacen a partir de un problema o situación del mundo. Estos interrogantes conducen a un proceso de investigación que genera una nueva concepción del entorno, ya sea para comprenderlo o para transformarlo; estos productos de la ciencia generalmente traen consigo una serie de materializaciones en forma de tecnología, así, en nuestra realidad los fenómenos naturales se mezclan con los aparatos e innovaciones tecnológicas generadas por las civilizaciones humanas a través de la historia, por tanto, para la comprensión y el aprendizaje de estos fenómenos, se hace necesario un estudio más profundo y completo de los mismos, que permitan a los educandos elaborar formas de representación que los lleven a abordar, comprender, explicar, comunicar y transformar sus nuevas formas de ver el mundo.

1.3. ANTECEDENTES

En una revisión sobre las investigaciones realizadas por la comunidad científica en el campo de las perspectivas históricas y epistemológicas para la enseñanza de las ciencias, al igual que en los procesos de modelización, se encontró que; en el artículo implicaciones didácticas de un estudio histórico sobre el concepto de equilibrio químico (Raviolo, 2007), ofrece información sobre algunos factores que mejoran la comprensión de la ciencia por parte de los alumnos, entre ellos: el tratamiento de preguntas filosóficas amplias, que no están presentes en los libros de texto, el rol de la creación de conceptos nuevos para describir y predecir hechos y por último rescatar las contribuciones de minorías, que por discriminación y factores sociales negativos las han mantenido en bajo número.

Entonces, para tener mayor claridad sobre los antecedentes relacionados con el objeto de estudio de esta investigación, su teoría y metodología revisaremos algunos trabajos y los resultados que estos nos proporcionan para enriquecer este estudio.

1.3.1. Antecedentes sobre historia y epistemología de las ciencias: En un trabajo reciente sobre problemas históricos y dificultades de los

estudiantes en la comprensión de los conceptos de sustancia y compuestos químicos realizado por Furio y Domínguez (2007), en el que pretendían encontrar regularidades entre las dificultades que se presentaron históricamente en la evolución de los conceptos macroscópicos y microscópicos de sustancia y compuesto, y aquellas dificultades de los estudiantes al abordar estos temas en las clases de química, encontraron que existen semejanzas entre las dificultades históricas y las de los estudiantes con relación al concepto de equilibrio químico. Resulta que, los conflictos encontrados se basaron principalmente en que, los estudiantes asocian sustancia a sustancia simple, pues no alcanzan a elaborar definiciones a nivel microscópico; y la mayoría de los estudiantes encuestados no diferencia entre proceso físico y químico.

Para tener otros puntos de referencia, se analizaron dos investigaciones en torno a la enseñanza y aprendizaje de la química. En la primera, se desarrolló un estudio comparativo entre dos cursos relacionados con la enseñanza de la estequiometría. El primer curso introdujo la dinámica de la capacidad interactiva de la tecnología en línea para facilitar la instrucción de la estequiometría, en el segundo curso, se realizó a partir de un texto guía. Después de analizar las puntuaciones de los post-test, se encontró un pequeño pero significativo avance en el curso que introdujo herramientas tecnológicas, ya que este permite a los estudiantes una retroalimentación instantánea, genera motivación en los estudiantes al abordar problemas contextualizados, reales y prácticos (Evans, Yaron y Leinhardt, 2008).

Con relación a la otra investigación, aborda un estudio sobre la calidad del agua que pretendía mostrar como la incorporación en el currículo de los tópicos de química desde el contexto, generan una reducción entre la incongruencia del aprendizaje afectivo y cognitivo; los resultados de esta investigación llevaron a la conclusión de que un currículo basado en el contexto puede generar apropiada comprensión de la ciencia, la selección, combinación y generación de nociones

teóricas apropiadas; y la penetración y comprensión de los procesos y los resultados de la evaluación (Bulte, Westbroek, De Jong y Pilot, 2007).

También cabe analizar otro estudio sobre los mecanismos de construcción de los paradigmas positivistas y post-positivista de las ciencias naturales y la incidencia de estos en la generación de una didáctica de la química que busca comprender el proceso histórico epistemológico desde la influencia del contexto específico en relación con la cultura, la ciencia y la técnica en la producción del conocimiento científico. Aquí, Gallego-Badillo, Gallego-Torres y Pérez-Miranda (2009), estudian desde un enfoque histórico epistemológico las leyes ponderales de la química como un momento importante en el surgimiento de la disciplina dentro de las ciencias naturales. Es significativo destacar, que en este artículo se evidencia el hecho de que en los programas y currículos y en los libros de textos correspondientes a grado decimo en el sistema educativo colombiano solo se hace alusión a la ley de la conservación de la masa para las unidades de balanceo de ecuaciones químicas, olvidando los procesos históricos y epistemológicos que han generado problemas de aprendizaje.

Ahora bien, “hacia el desarrollo de una actitud científica en la escuela desde la enseñanza de las ciencias” fue el título de una serie de memorias en donde se recoge las experiencias con docentes de 9 subregiones de Antioquia (Pulgarín *et al.*, 2008), en ellas se revela la importancia de la historia de las ciencias como herramienta para desmitificarla, involucrando la epistemología con la labor experimental para formar la racionalidad en los educandos, tendencia de análisis de verdades y teorías provisionales que en su búsqueda dan lugar a nuevas preguntas, en lugar de dar respuesta a todo; cultivando así la actitud crítica y científica frente al mundo y las formas de interrogación propias de la lógica moderna.

1.3.2. Antecedentes sobre modelos y modelización en ciencias: cabe anotar que, para algunos científicos como Giere y Nersessian (1992, citado en Rojas, 2004) la ciencia es un tipo de actividad humana compleja y difícil de describir, en el que se construyen teorías

procedentes de las representaciones mentales. Sin embargo, los modelos que proponen los científicos no son tan diferentes de los modelos que cualquier persona construye para representar su comprensión del mundo. En la misma línea de ideas, filósofos de la ciencia como Giere (2004), proponen modelos cognitivos de la ciencia apoyados en conceptos de la racionalidad moderna y que representan en diferentes grados de abstracción.

De este modo, cuando un modelo teórico no es comprendido en su totalidad se produce un modelo mental híbrido, el cual proporcionará una representación del mundo para el individuo que lo construye.

A continuación, se exploran los resultados de un estudio en el cual se realizó un análisis epistemológico desde el modelo cognitivo de la ciencia propuesto por Ronald Giere, teniendo en cuenta las diversas representaciones cognitivas que se han manifestado a lo largo de la historia del concepto de ácido-base. El estudio denominado representaciones epistemológicas cognitivas del en cuestión, ha sido desarrollado por Chaparro, López, Villalba y García (2006). Para el desarrollo de la investigación los autores diseñaron una estructura metodológica constituida por tres momentos:

- I. El primer momento consistió en el desarrollo de un análisis de tipo evolutivo de textos de historia y filosofía de las ciencias para determinar los postulados del concepto de ácido base.
- II. Con relación a la epistemología se analizaron las representaciones cognitivas desde el enfoque de modelos cognitivos de la ciencia de Ronald Giere.
- III. Por último, el diseño de una unidad didáctica desde el análisis de las representaciones epistemológicas y cognitivas del concepto de ácido-base.

En este sentido, el diseño metodológico para el estudio pretende responder al siguiente objetivo, analizar históricamente las representaciones epistemológicas-cognitivas del concepto ácido-base y proyección hacia la enseñanza. Entonces, para cumplir con este objetivo la construcción teórica retomo tres aspectos

principalmente: referentes didácticos, referentes epistemológicos y referentes históricos.

De todo lo anterior, y del análisis de los resultados en el estudio se concluyó que:

- Del análisis histórico y epistemológico del concepto de ácido-base se determinó que las representaciones de este concepto desde las perspectivas de modelo cognitivo de la ciencia de Giere se agrupan en representaciones iniciales basadas en juicios particulares (en términos históricos se ubican en periodos alquimista e iatroquímica).
- Los modelos como proyecciones mentales de enunciados e hipótesis y representaciones teóricas, demuestran que sus construcciones sociales son cruciales para el aprendizaje de las ciencias.

Ahora, desde el análisis de las actividades problemáticas de la unidad didáctica en relación con el análisis histórico epistemológica se concluyó principalmente que:

- La reconstrucción didáctica de la evolución histórica social permiten al docente un mejor manejo disciplinar que se proyecta en la enseñanza, aportando en gran medida al análisis de las representaciones epistemológicas cognitivas para la comprensión del concepto ácido-base.
- La reconstrucción didáctica desde el enfoque que aquí se propone, fortalece las relaciones entre didáctica de las ciencias y filosofía de las ciencias
- La producción de actividades problémicas de aula desde el análisis de las representaciones cognitivas facilita la creación de actividades enriquecidas conceptual, procedimental y actitudinalmente desde la ciencia.

A partir del examen de los estudios aquí expuestos, hemos podido elaborar un estado del arte en torno al enfoque y metodología de nuestra investigación, que se proyectará en los apartados sucesivos.

1.3.3. Antecedentes sobre el contexto de la investigación: para aproximarnos al conocimiento del contexto es importante reconocer que existe una relación recíproca entre los procesos de transformación de la estructura social y el individuo en relación con el espacio y sus formas de interacción e interpretación de la realidad y la cultura, esto nos lleva a la necesidad de identificar algunos elementos de la naturaleza del contexto en el cual se desarrolla este proyecto de investigación; entendido este como aquel conjunto indisoluble de sistemas de objetos y de sistemas de acciones (Montañez y Delgado, 1998). Algunos de estos elementos del municipio de Támesis nos proporcionan situaciones que posibilitan nuestra comprensión de las concepciones alternativas de los estudiantes desde una mirada contextualizada.

1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Durante mucho tiempo la enseñanza tradicional de las ciencias naturales (en este caso la química) se ha centrado en transmitir conceptos que se apartan de los procesos evolutivos de construcción de conocimiento por parte de los científicos y de los estudiantes; esto ha llevado a reducir la enseñanza científica a la presentación de resultados, conceptos y formulas sin permitir a los estudiantes acercarse a los procesos de aprendizaje crítico de la ciencias (Pulgarín *et al.*, 2008). Estas visiones distorsionadas de las ciencias se producen por varios aspectos (Gil *et al.*, 2005), de los cuales tocaremos algunos que se encuentran estrechamente relacionados con el problema de investigación:

- Visiones descontextualizadas de la ciencia.
- Una concepción individualista y elitista de la ciencia.
- Una concepción empírico-inductivista y ateórica.
- Una visión rígida, algorítmica e infalible.

- Una visión aproblemática y ahistórica.

Estas visiones deformadas de la ciencia y la tecnología han generado profundas discrepancias entre los filósofos de la ciencia (Popper, Kuhn, Bunge, Lakatos...) ocasionando perplejidad entre los investigadores en didáctica y llevando a plantear si tiene sentido hablar de una concepción correcta de la ciencia (Gil *et al.*, 2005). De otro lado, las estrategias de enseñanza de las ciencias más comunes en las aulas están constituidas por exposiciones teóricas magistrales o actividades de resolución de problemas, las mismas que al parecer no resultan ser eficaces para superar las dificultades de comprensión de los estudiantes. (Bermúdez y Longhi, 2011).

En realidad, este panorama no ha cambiado, ni resulta ser diferente en la Institución Educativa San Antonio De Padua, en la cual se observa en los estudiantes dificultades para explicar fenómenos desde las leyes ponderales, generando además, obstáculos en la enseñanza y aprendizaje de la química en general. Estos obstáculos se manifiestan en la desarticulación de las teorías con algunas situaciones que se viven en la vida diaria, donde se hace necesario el uso de los conceptos aprendidos y habilidades desarrolladas. Además, el desconocimiento de los procesos históricos y epistemológicos de construcción de las leyes ponderales como objetos de conocimiento de la química, que pretenden narrar como han surgido las explicaciones acerca de ciertos fenómenos naturales o solucionar problemas reales que la sociedad ha demandado en diferentes momentos, constituye un factor que incide en la creación de brechas entre la realidad o situaciones que viven los estudiantes, la teoría y los modelos científicos (ciencia y la tecnología) y la habilidad para reflexionar acerca del mundo que los rodea (filosofía).

Sumado a lo anterior, la poca incorporación de situaciones cotidianas contextualizadas relacionadas con las leyes ponderales, el uso de artefactos y productos tecnológicos cotidianos, así como el estudio fenómenos naturales que se llevan a cabo en sus ambientes de aprendizaje, hogares de residencia y en

general el contexto en que se desenvuelven los estudiantes, y que pueden ser objeto de estudio por parte de los alumnos, han llevado a la formulación de las siguientes preguntas:

PIP.1: ¿De qué manera incide la enseñanza de las leyes ponderales, desde la perspectiva histórica y epistemológica, en la construcción de modelos mentales por parte de los estudiantes de grado décimo de la Institución Educativa San Antonio de Padua, mediante el desarrollo de una unidad didáctica como estrategia de instrucción?

PIP.2: ¿Cuáles son las dificultades que encuentran los estudiantes participantes en el estudio para el aprendizaje de las leyes ponderales?

1.5. Objetivos de la investigación:

Los objetivos en la investigación nos permiten establecer con claridad lo que se pretende en la investigación, orientando la metodología y la respuesta a las preguntas de investigación. En este orden de ideas, los objetivos de este estudio son:

1. Analizar la incidencia de la enseñanza de las leyes ponderales, desde la perspectiva histórica y epistemológica, en la construcción de modelos mentales por parte de los estudiantes de grado décimo de la Institución Educativa San Antonio de Padua, mediante el desarrollo de una unidad didáctica como estrategia de instrucción.
2. Identificar las dificultades que encuentran los estudiantes participantes en el estudio para el aprendizaje de las leyes ponderales.

2. MARCO TEÓRICO:

Introducción:

Los seres humanos son capaces de reflexionar sobre el mundo y la manera como este se presenta, además, los productos de esta reflexión nos permiten comprenderlo y transformarlo, constituyéndose así, los cuerpos de conocimiento y las diferentes disciplinas científicas. Disciplinas que no han surgido de manera súbita, sino por el contrario, obedecen a largos periodos de evolución de las diferentes maneras de ver, discernir y representan la realidad.

Siendo así, para la ciencia ha sido de vital importancia diseñar mecanismos de representación y transmisión de los conocimientos, que permitan dar a conocer las formas en la que experimenta y abstrae los sistemas del mundo. En este orden de ideas, se debe rescatar el hecho de que dentro de las muchas características que posee el conocimiento científico, una de ellas es, la de que éste se constituye como un saber comunicable y transmisible en el contexto de conservación de la cultura científica (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009).

Basados en lo anterior, los modelos como herramientas de conexión entre el mundo real y las teorías científicas, tienen un amplio recorrido histórico el cual pone de manifiesto la capacidad de los seres humanos para transformar las formas de aproximarse a los fenómenos, para vislumbrarlos y operarlos.

En este contexto, el caso particular de los modelos atómicos es un ejemplo de los procesos de transformación que sufren las formas de explicar una porción de la realidad y que se desarrollan a través de la historia. Desde los tiempos de Demócrito 400 años A. de C, pasando por la influencia de la física de Newton hasta las actuales concepciones sobre los átomos, enriquecidas con las teorías de la física cuántica, se aprecia un ejemplo típico de las elaboraciones conceptuales de la ciencia y las transformaciones que éstas sufren.

Desde otro punto de vista, la didáctica en su búsqueda de rutas para mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias ha girado la mirada hacia los mecanismos históricos y epistemológicos del conocimiento científico, pues, estos ofrecen un enriquecido universo de información sobre las maneras de reflexionar, analizar, comprender, comunicar, representar el mundo, para que a partir de allí los docentes descubramos opciones a la hora de orientar a los y las jóvenes en la construcción de la ciencia escolar (Gallego-Badillo, Gallego-Torres y Pérez-Miranda, 2012).

Es así como, el marco teórico el cual se resume en el grafico No. 1, está fundamentando en las teorías sobre modelos mentales de Greca, Moreira y Palmero (1998); la historia y la epistemología también se encuentran fundamentadas en las construcciones teóricas desarrollada por Giere (2001), y otros autores que se incluyen más adelante. Esta teoría incorpora los procesos de construcción del conocimiento científico basados en algunos esquemas y procesos cognitivos que desarrolla cada sujeto cuando trata de comprender un fenómeno o en su caso, construir nuevos conocimientos o como Giere lo denomina “la comprensión del mundo natural”. Siendo esa contemplación un agente básico para la enseñanza y aprendizaje de la ciencia.

De igual forma, existen otros referentes recientes sobre los constructos epistemológicos que se contemplan en este trabajo con el fin de enriquecerlo. En particular, se abordara un aspecto epistemológico referido a la forma como el conocimiento es construido (Gallego-Badillo, Gallego-Torres y Pérez-Miranda, 2009, 2012; Rodríguez, Marrero y Moreira, 2001; Giere, 2001).

En este estudio, el rastreo del estado del arte se realizó en algunas bases de datos bibliográficas de referencia, entre ellas, se consultó Knowledge, Jostor, Eric International, Dialnet, Science Direct, entre otras. Esta búsqueda se efectuó utilizando palabras claves referidas al tema en cuestión, esto es: a) aprendizaje de la ciencia, b) historia y epistemología de las ciencias, c) modelos y modelización en educación en ciencias, d) modelos mentales, e) aprendizaje contextualizado de

la educación en ciencias, f) leyes ponderales de la química, g) combinaciones de algunos de los términos o palabras claves mencionadas.

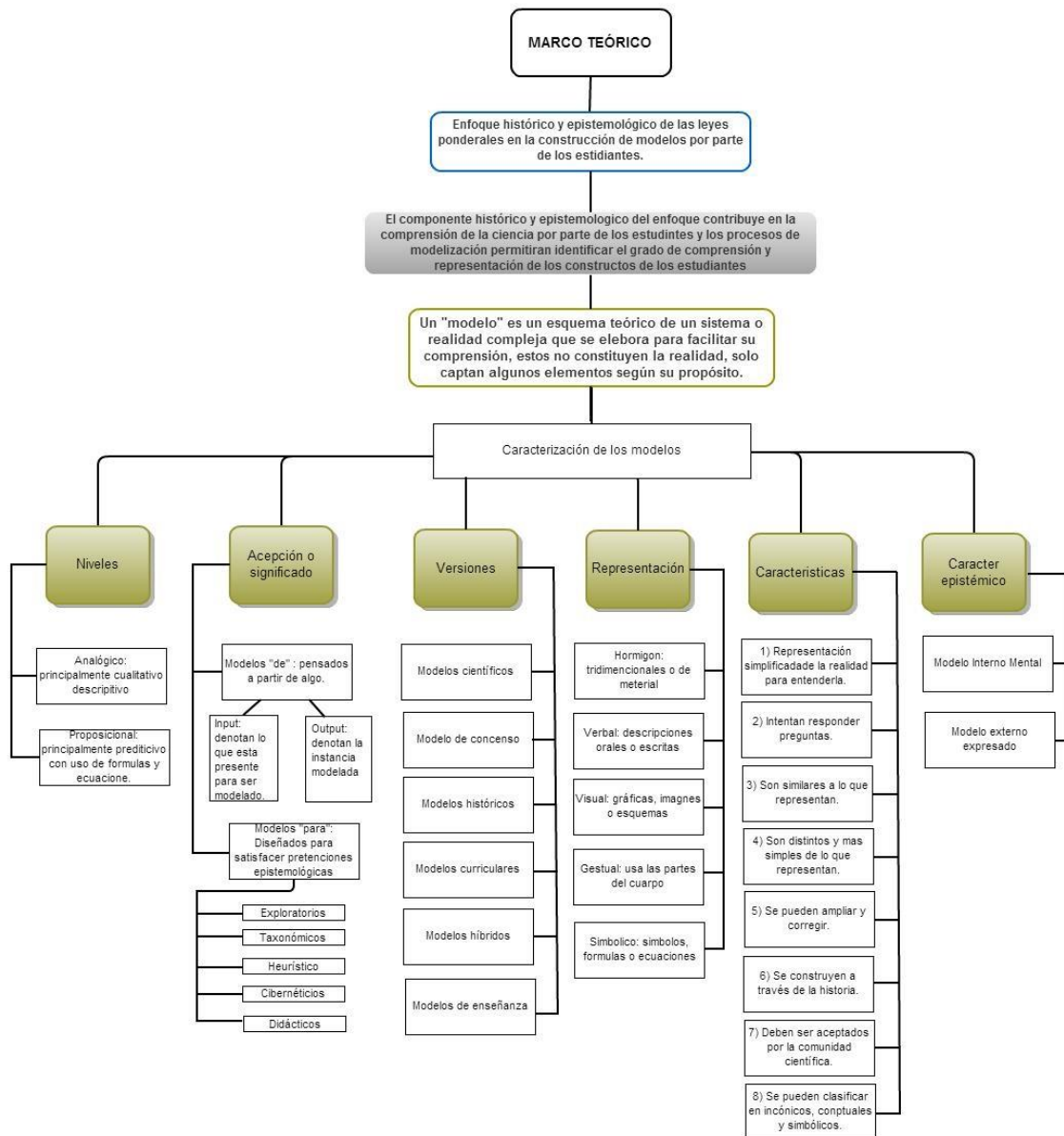


Gráfico No. 1: Resumen marco teórico

De igual forma, se realizó una búsqueda manual considerando algunas de las revistas más importantes en la educación en ciencias y, en particular, en la educación en química: Journal of Research in Science Teaching, Journal of Chemical Education, International Journal of Science Education, Enseñanza de las Ciencias, Chemistry Education Research and Practice, Science Education, Studies in Science Education; esta revisión se llevó a cabo utilizando criterios expertos, orientados principalmente en los siguientes aspectos: antecedentes teóricos y de investigación en los que no solo coincidiera la teoría sino también el diseño del estudio, se privilegiaron artículos de los últimos diez años y artículos sobre educación en ciencias (particularmente los de enseñanza de la química). Para completar la búsqueda de la información, se eligieron una serie de monográficos en el área considerada, en particular, se consultó en la International Journal of Science Education, Volumen 28, Edición 9, 2006, el cual estaba referido al tema: "Context-based Chemistry Education".

2.1. HISTORIA Y EPISTEMOLOGÍA DE LA CIENCIA

Dentro de la filosofía de las ciencias existe una rama o disciplina dedicada al estudio de la investigación y los conocimientos científicos y sus alcances denominada epistemología (Bunge, 2007) que ha centrado su interés en el análisis de los supuestos de las teorías científicas o de las formas de validación de las mismas antes que en las circunstancias psicológicas o sociológicas que permiten su producción (Klimosvky, 1994).

De manera paralela, la historia como recuento de sucesos o hechos de acontecimientos públicos o privados dignos de ser recordados (RAE, 2010), muestra cómo se han desarrollado los eventos o efemérides que condujeron a la construcción del conocimiento científico. Entonces, si se toman estas dos disciplinas (la epistemología y la historia) con el propósito de crear una estructura o ruta pedagógica para aproximar a los estudiantes a un aprendizaje significativo de las ciencias, será posible el diseño de propuestas didácticas fundamentadas en la filosofía y la historia de la ciencia.

A continuación, se describen los elementos teóricos que cobijan nuestra propuesta. Para empezar, se hace un pequeño recuento histórico- epistemológico del origen de la química como disciplina científica. En este orden de ideas, la química fue elevada a la categoría de ciencia después de mucho tiempo de encontrarse sumergida o relegada por la física, en parte por la influencia que esta disciplina mantuvo durante algún tiempo (sin desconocer las grandes aportaciones de la física a esta ciencia).

2.1.1. La historia y la epistemología de las leyes ponderales de la química: la química en sus inicios, se describía como un conjunto de prácticas y rituales místicos, como fue el caso de la alquimia; sin embargo, gracias a la introducción de procesos meticolosos de investigación, medición y cálculos matemáticos heredados de la física, que condujo a los científicos de la época a la consecución de los principios y leyes fundamentales de la química, esta disciplina pudo alcanzar la categoría de ciencia (Gallego-Badillo, Gallego-Torres y Pérez-Miranda,2009).

Si se analizan ahora los resultados que llevaron a Lavoisier a formular **la ley de la conservación de la masa**, estos postulados se convirtieron en la piedra angular de la química del siglo XIX, y se generaron como consecuencia de los procesos meticolosos de medición en los cambios químicos. Además, le permitió a Lavoisier proscribir la teoría del flogisto, teoría que para la época explicaba, que todas las sustancias eran susceptibles de experimentar combustión y contenían flogisto, este hecho, permite presentar no solo a un ejemplo de cómo poco a poco la química fue ganando terreno para llegar a ser disciplina científica, sino también, un análisis histórico de cómo se labra el conocimiento científico a partir del estudio de los fenómenos o sistemas del mundo (Gallego-Badillo, Gallego-Torres y Pérez-Miranda, 2012).

Así las cosas, esta ley, que explica que en un sistema de reacción cerrado no hay ganancia ni pérdida de peso y que además fue un modelo de los resultados de los métodos instaurados por Lavoisier, proporcionaron un procedimiento para estudiar

los fenómenos químicos. Estos resultados estimularon la exploración de otros fenómenos en los cuales los procesos de medición y cuantificación permitieran explicar el estudio de la química (Asimov, 1975; Asimov, 1984; Bascuñán, 1999).

Ahora bien, al examinar cuidadosamente las construcciones y los desarrollos históricos de los diferentes conceptos, explicaciones e hipótesis formuladas por los científicos para el estudio de la realidad, encontramos que existen semejanzas entre las concepciones alternativas que expresaban los científicos, con las concepciones alternativas que expresan los estudiantes cuando abordan los tópicos de la química (Furio y Vilches, 1997; Raviolo, 2007).

A todo esto, sumar el hecho de que cuando los seres humanos reflexionan sobre los fenómenos naturales que experimentamos desplegamos una serie de recursos y procesos cognitivos para la creación y manifestación de representaciones externas (Giere, 2002), entonces, esta pequeña aproximación entre las concepciones iniciales de los estudiantes con relación a las de los científicos nos permiten proponer un enfoque didáctico fundamentado en la historia y epistemología para la enseñanza de las ciencias. El propósito principal de este enfoque está centrado en potenciar el aprendizaje, direccionando los recursos históricos y epistemológicos no como meros recuentos de sucesos, sino como una aproximación a los métodos de representación, comprensión y análisis de la realidad por parte de los hombres y mujeres mentores de la ciencia.

Al llegar a este punto, conviene examinar la historia del origen de la química como ciencia, para la época, cuando se abordaba el fenómeno químico que se desencadenaba cuando un ácido reacciona con una base (situación denominada reacción de neutralización) cuyos productos finales son una sal y agua, no se formulaban explicaciones coherentes y fundamentadas para dicho fenómeno. Así por ejemplo, una disolución de ácido Clorhídrico que se mezcla con cantidades convenientes de Hidróxido de Sodio se transforman en sal común de cocina o Cloruro de Sodio y agua, esta misma reacción de neutralización se llevaba a cabo de igual manera con otros ácidos y bases, dando origen a sales y agua.

Fue entonces cuando, el químico Alemán Jeremías Benjamín Richter (1762 – 1807) quien intentado utilizar el modelo matemático de medición de Lavoisier aplicado a otros fenómenos, aprovechó este suceso químico y midió la cantidad exacta de diferentes ácidos que se precipitaban al neutralizar o reaccionar con una cantidad determinada de base y viceversa. Sus resultados lo llevaron a determinar que se necesitaban cantidades fijas y definidas de un compuesto, para que reaccionaran con un peso fijo de otro, estas explicaciones se instauran en lo que se conoce hoy como ***peso equivalente***.

Así, Richter publicó los resultados de su trabajo en 1792 y consecuentemente, sus publicaciones condujeron a nuevos cuestionamientos dentro de la comunidad científica, entonces comenzaron a surgir preguntas como ¿están esos elementos siempre presentes en un compuesto en las mismas proporciones?, ¿por qué no podrían los elementos mezclarse en proporciones ligeramente variables?, estos interrogantes fueron abordados por dos químicos franceses que estaban empeñados en dilucidar si este tema de la exactitud aplicaba para otros procesos químicos. El primero de ellos fue Claude Berthollet (1748 – 1822) quien fue colaborador de Lavoisier y tenía ideas opuestas con Joseph Proust (1754 – 1826). Berthollet pensaba que si se preparaba una sustancia que estuviera conformada por un elemento “X” y un elemento “Y”, y si esta se elaboraba con exceso de “X”, este componente se presentaría en mayor proporción que el “Y” en el compuesto; en un caso opuesto al pensamiento de Berthollet se encontraba Proust, quien durante la revolución francesa se trasladó a España y desarrolló su trabajo allí a salvo de las presiones de la época. Proust analizó cuidadosa y consecutivamente el Carbonato de Cobre, demostrando que, sin importar la forma como se obtuviera o preparara esta sal, las proporciones siempre serían las mismas (Bascañán, 1999).

De igual manera, Proust comprobó que esta similitud prevalecía para muchos otros compuestos. Finalmente, Joseph Louis Proust formuló la generalización: todos los compuestos están constituidos por elementos químicos en ciertas proporciones definidas, independientemente de las condiciones bajo que se

hubiese formado, esta ley recibió el nombre de **ley de las proporciones definidas o ley de Proust**.

Durante los primeros años del XIX quedó bastante claro que la ley de Proust se cumplía, pero, como es común en la historia de la ciencia siempre surgen nuevos cuestionamientos ¿por qué un compuesto siempre tenía que estar constituido en las mismas proporciones?, ¿por qué no podrían los mismos elementos combinarse de forma variable en los compuestos?

A partir de estos cuestionamientos el químico John Dalton (1766 – 1844), ayudado por un descubrimiento propio, encontró que, dos elementos pueden combinarse en más de una proporción, lo que conduce a gran variedad de combinaciones en compuestos diferentes. Por ejemplo, el Carbono y el Oxígeno se pueden combinar como CO (Monóxido de carbono) o como CO₂ (Dióxido de carbono), esto condujo a la formulación en 1803 de **la ley de las proporciones múltiples**.

Ahora veamos, para el año 1807 el químico sueco John Jacob Berzelius (1779–1848), suministró tantos ejemplos de las proporciones definidas, que la comunidad química de la época, en la cual existía escepticismo latente por esta ley, no tuvo más opción que aceptarla. En consecuencia de esta teoría nacería la teoría atómica de Dalton. Berzelius empezó a determinar los pesos atómicos, utilizando métodos más avanzados que los de Dalton. De manera controversial, para aquella época existían variedad de tablas de pesos atómicos; la de Dalton, la de Berzelius u otras propuestas de otros científicos. La tabla de pesos atómicos de Dalton difería de la tabla de valores de pesos atómicos de Berzelius, pues esta última no utilizaba números enteros. Durante el siglo XVIII se publicaron cada vez más y mejores tablas de pesos atómicos, que en últimas suscitaron la aceptación de la teoría atómica de Dalton. Una vez aceptada esta ley podrían representarse moléculas con números fijos de átomos. Alrededor de estas representaciones para las moléculas, se originaría una nueva controversia en donde nuevamente los protagonistas serían John Dalton y Jacob Berzelius. De un lado Dalton representaba los elementos usando círculos con símbolos (ver imagen No. 1) y del otro lado Berzelius vio los círculos como superfluos y sugirió que bastaban las

iniciales de los nombre de los elemento como símbolos. Así, si dos o más elementos poseían la misma inicial, podía añadirse la segunda letra para distinguirlos (estas iniciales provenían de los nombres latinizados de los elementos).

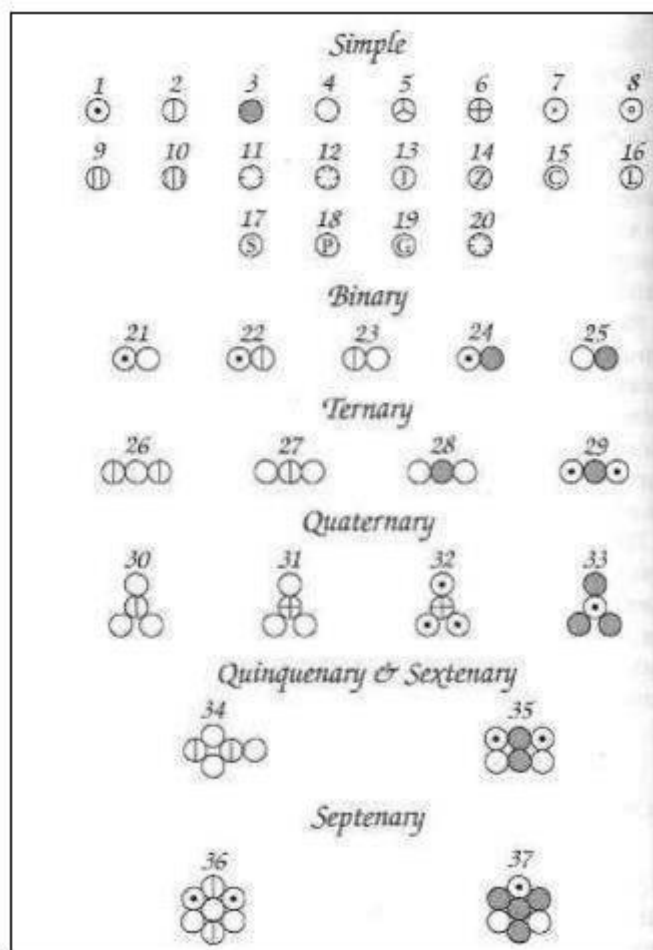


Imagen No. 1: Pesos atómicos de Dalton (Asimov, 1975, p. 45)

De esta manera se construyeron los símbolos químicos, de los cuales hoy en día, gracias a los acuerdos de los congresos y asociaciones de química sea llegado a un conceso internacional. Por ello, para los estudiosos de esta disciplina resulta más conveniente el uso de estos símbolos, debido a que se puede representar el número de átomos de una molécula en forma de fórmulas químicas y estas fórmulas pueden combinarse para formar ecuaciones que describen procesos químicos y estas deben cumplir con las leyes ponderales de la química .

2.1.2. Enfoque histórico y epistemológico: en el subcapítulo anterior, se trató de acercarse de una manera conspicua al contexto de los procesos históricos de construcción de la química como ciencia moderna; este lacónico recuento histórico, no solo nos proporcionara una ruta para la comprensión de los interrogantes sobre el mundo y los fenómenos que suscitaron el estudio de las leyes ponderales de la química, sino también, las rutas y procedimientos instaurados para la búsqueda de sus respuestas, para su comprensión, representación y los enlaces entre dicha realidad y las teorías que la explicaban.

Alrededor de este punto, se analizan los resultados de un estudio realizado recientemente sobre problemas históricos y dificultades de los estudiantes en el aprendizaje de los conceptos de sustancia y compuestos químicos, este fue realizado por Furio y Domínguez (2007), en el se encontraron regularidades entre las dificultades que se presentaron históricamente en la evolución de los conceptos macroscópicos y microscópicos de sustancia y compuesto, y aquellas dificultades de los estudiantes al abordar estos temas en las clases de química.

De otro lado, debemos destacar que para esta investigación en particular se concluyó que *“...se puede obtener una relación fructífera entre la psicología del aprendizaje y la epistemología de la ciencia. No solo para idear estrategias didácticas sino también para secuenciar contenidos y actividades de enseñanza y aprendizaje de la ciencia...”* (Furio y Domínguez, 2007, p. 254). Lo que constituye un elemento indispensable para fundamentar este estudio.

Se debe señalar aquí, lo valioso y enriquecedor que puede ser el hecho de una relación entre psicología del aprendizaje y la epistemología de las ciencias para la educación, todo esto porque a través de ella los estudiantes podrán afrontar de una manera más próxima el estudio de los fenómenos y los sistemas de la realidad, basados en el conocimiento científico, que les permitan construir sus propias preguntas y buscarles sus propias respuestas.

Este estudio, implicó un diseño experimental transversal con jóvenes entre 15 y 18 años a los cuales se les evaluó las concepciones alternativas relacionadas con los significados que otorgan a los conceptos de sustancia y compuesto químico, esta evaluación se realizó mediante una serie de cuestionarios y cuyos posteriores resultados fueron analizados desde la perspectiva cualitativa y cuantitativa.

En esta dirección, surge la necesidad de investigar sobre aquellos conocimientos con los cuales los alumnos disponen y que traen al aula de clase, conduciendo a la incorporación de una perspectiva psicológica del aprendizaje, de otro lado, si tenemos en cuenta las múltiples dificultades u obstáculos que en materia de conceptualización del aprendizaje por parte de los estudiantes se reflejan en las investigaciones en el campo de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, todo esto justificaría buscar otros modos de entender los eventos y procesos educativos.

Prosiguiendo con el tema, otro artículo que expone los resultados de una investigación con diseño experimental es el que lleva el nombre importancia de las leyes de las proporciones múltiples y definidas en química y la enseñanza de la química, de Mansoor Niaz (2001), los propósitos para este estudio fueron contemplados desde tres criterios: 1) elaborar un marco basado en la reconstrucción racional de los acontecimientos que llevaron a la formulación de las leyes de proporciones múltiples y definidas; 2) identificar las visiones de los estudiantes sobre estas dos leyes, y 3) evaluar el tratamiento que los libros de texto dan a estas dos leyes, proporcionando así a los profesores la justificación para determinar si se puede o no enseñar química sin atender a los conocimientos relacionados con las leyes de proporciones múltiples y definidas.

Para cumplir con dichos propósitos el estudio realizó una revisión de diversos libros de textos que se usan frecuentemente para la enseñanza de la química en los primeros niveles de la universidad teniendo en cuenta algunos criterios establecidos, tales como: a) interpretación de la leyes de proporciones múltiples y definidas, b) secuencialidad de la explicación para la combinación de los elementos químicos para formar compuestos, c) secuencialidad de la explicación

para la forma como los elementos se combinan al formar varios compuesto, y d) la existencia de compuestos no estequiométricos; además, se analizó la presencia o no, de descripciones históricas, experimentales o la ausencia total de estas en las explicaciones de los libros de texto sobre las leyes ponderales.

Asimismo, se analizaron los resultados de cuestionarios relacionados con las ideas alternativas sobre las leyes ponderales y sus teorías al final del curso de epistemología de las ciencias, dirigido a estudiantes de primer año de universidad. Tanto los resultados del análisis de los libros de textos, como los resultados de los cuestionarios llevaron a Niaz (2001) a concluir que los estudiantes son renuentes a cuestionar las leyes que han aprendido y, de otro lado que, los libros de textos avalan la dicotomía entre teoría y ley que es cuestionada actualmente por filósofos de la ciencia como Lakatos y Giere. A todo esto el autor propone que es posible enseñar química sin las leyes de proporciones múltiples y definidas siempre y cuando se construya un enfoque en donde se enfatice más en la relación molar que en la combinación de elementos para formar compuestos que faciliten la comprensión de la naturaleza de las partículas de la materia desde un contexto histórico y epistemológico (Niaz, 2001).

Al llegar a este punto, resulta importante recordar que la composición, los cambios y las relaciones entre los componentes de la materia que han sido objeto de estudio de la química; así como el lenguaje y modelos de representaciones se constituyeron en objeto de discusión en los congresos de Karlsruhe 1860 (organización de químicos europeos en donde se discutió sobre la nomenclatura química, la notación formulas y masas atómicas). Al interior del congreso, se debatieron fuertemente los puntos o temas que fortalecerían a los químicos como una comunidad científica con un lenguaje comunitario específico, lo cual constituía un problema, ya que al no expresar los resultados de sus investigaciones mediante significados compartidos por todos los miembros de una comunidad, se generaban confusiones cuando se pretendía transmitir los conceptos como saberes propios del aula (Gallego-Badillo, Gallego-Torres y Pérez-Miranda, 2012).

Dado que, en los congresos de Karlsruhe de 1860, no se logró un consenso frente a los aspectos debatidos, en 1911 con la creación de IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, por sus siglas en inglés), se determinan los siguientes aspectos (Gallego-Badillo, Gallego-Torres y Pérez-Miranda, 2012):

- La química es una ciencia que se construye en las aulas, por tanto se deben crear y diseñar los mecanismos necesarios para una química enseñable.
- La necesidad de introducir los desarrollos físicos en las explicaciones científicas.
- Se logró la adopción de un lenguaje sistemático de uso universal para los compuestos químicos y la hipótesis de Avogadro.

Es así, que al desentrañar el primer aspecto o acuerdo de los convenidos en el congreso de Karlsruhe en 1911, encontramos que la necesidad de una química enseñable tiene sus orígenes desde la constitución de la química como disciplina científica. Pues desde sus orígenes los científicos han comprendido que una disciplina que no puede ser enseñada no es una disciplina científica propiamente dicha. De toda esta situación se vuelve evidente el por qué la premura desde los tiempos de la alquimia por la elaboración de textos o tratados que sirvieran para la enseñanza de la química como disciplina científica (Gallego-Badillo, Gallego-Torres y Pérez-Miranda, 2012).

Desde otra óptica, hay que mencionar que, Cardellini (2012) manifiesta que las dificultades que pueden tener los estudiantes en el aprendizaje de la química se resumen en los siguientes aspectos: a) la naturaleza de la ciencia en sí misma se la hace inaccesible, teniendo en cuenta las características matemáticas, algebraicas y de la comprensión de los objetos de estudio de esta ciencia, b) los métodos por los cuales se ha enseñado tradicionalmente eleva los problemas, los cuales se han orientado a la repetición de conceptos memorísticos y desligados de una comprensión histórica y epistemológica, y c) los métodos por los cuales los estudiantes aprenden están en conflicto con uno o ambos de los anteriores, pues

los contenidos de aprendizaje se presentan descontextualizados y las estrategias no se aprovechan de los recursos tecnológicos actuales.

En este orden de ideas, se empieza a vislumbrar la importancia de encontrar rutas que generen motivación e interés hacia el estudio de las ciencias, y más aún de una ciencia para la vida, en la que los jóvenes puedan utilizar los conocimientos que han aprendido, para reflexionar conscientemente sobre los fenómenos que perciben a diario, esto con el propósito de desenvolverse mejoren las sociedades modernas (Gil et al., 2005).

En resumen, el conocimiento científico no surgió de manera repentina, obedece a una serie de construcciones y reconstrucciones por parte los científicos o grupos de científicos en el transcurso de la historia. A pesar de todo esto, la ciencia en las aulas de clase aún es presentada desde una visión diferente, que no reconoce los elementos históricos y epistemológicos del conocimiento, y que se vuelve evidentes en algunos estudios desarrollados en el campo de la educación (Gil et al., 2005; Giere, 2001; Furio y Vilches, 1997; Pulgarín et al., 2008), en los que se han encontrado similitudes en cuanto a las visiones de la ciencia. A continuación se mencionan algunas:

- a)** Una postura doctrinal en donde los científicos o personas de ciencia se muestran como seres de mentes brillantes.
- b)** Una postura aproblemática y ahistórica en donde se desconocen las transformaciones conceptuales, las situaciones e interrogantes que motivaron la curiosidad e indagación de los hombres por los fenómenos de la naturaleza.
- c)** Los problemas y dificultades que se tuvieron que enfrentar y superar para llegar a una mejor comprensión del mundo natural.
- d)** Hasta llegar a una simple exhibición de los descubrimientos, que son promovidos como una serie de hitos súbitos y que solo pueden ser desarrollados por elites dentro de la sociedad.

En este orden de ideas, es comprensible el por qué los historiadores reclaman el derecho de ser útiles en la educación, enfatizando no en la comprensión restrictiva y pobre de la historia como recuento de lo antiguo, si no, en su aspecto de reflexión epistemológica sobre el saber actual (Giere, 2001; Pulgarín *et al.*, 2008).

Se anota que, la articulación pedagógica de la epistemología de la ciencia y la historia en la enseñanza de la química, procura incidir en el aprendizaje de los estudiantes mediante el análisis de situaciones cotidianas, fomentando la comprensión de las leyes ponderales que fundamentan la estequiometría.

Respecto a esto, se han encontrado que tanto en el enfoque por descubrimiento, como en los procesos de invención conceptual, se ha puesto la atención en la historia de la ciencia para investigar la manera como los personajes de ciencia construyeron su conocimiento, para identificar en ellos vías de aprendizaje que los estudiantes puedan imitar en favor del aprendizaje (Furio y Domínguez, 2007; Lawson, 1994).

Resulta interesante que, en estas investigaciones se haya encontrado, que los estudiantes tienden a tener los mismos obstáculos en la comprensión de conceptos de tuvieron los y las científicas que se dedicaron a su construcción (Furio y Domínguez, 2007), este panorama puede ser de utilidad a la hora de planear las actividades de enseñanza y aprendizaje, pues, se vuelve una camino facilitador de comprensión para los alumnos.

Del mismo modo, las aportaciones de la epistemología a una comprensión fundamentada y argumentada de la ciencia por parte de los estudiantes e incluso de los profesores, es decir, una identificación de las problemáticas o situaciones que dieron origen a los procesos de investigación científica, como la consecución de los conceptos, teorías, modelos científicos y características de la ciencia; permitirían la aplicación, explicitación y divulgación de sus formas de ver el mundo. Todo esto, conduciría a la implementación de prácticas de enseñanza y aprendizaje significativos e innovadores, en donde los estudiantes puedan intentar construir explicaciones y modelos de fenómenos o situaciones del mundo,

suscitando un interés en los educandos por el discernimiento del entorno en su vida cotidiana (Chamizo e Izquierdo, 2005; Palmero y Moreira, 1999).

Teniendo en cuenta las construcciones de Giere (2009, 2004, 2001, 1999), Niaz (2001), Gallego (2012, 2009, 2004) y otros autores, se resumen algunos elementos claves en nuestro enfoque de enseñanza y aprendizaje de la química desde una perspectiva histórica y epistemológica.

Como primero, la historia y la epistemología deben ir de la mano para proporcionarnos una comprensión holística del surgimiento de los cuerpos de conocimiento, para que estos no aparezcan como simples sucesos o hitos aislados, si no por el contrario, estén fortalecidos por las grandes preguntas o inquietudes que suscitaron los acaecimientos que se narran.

En esta dirección, Giere (2009, 2001) señala que en los cursos de química y en los libros de texto para la educación secundaria y preuniversitaria no se incluyen las características aceptadas de la ciencia que han conducido al surgimiento de los conceptos teóricos que la sustentan, de allí, que los filósofos de la ciencia han encontrado un lugar para la ciencia cognitiva en la enseñanza basada desde una perspectiva histórica y filosofía de la ciencia que mira los actores que producen los resultados de la ciencia que ahora se tienen, de esta manera sus productos cognitivos se encuentran claramente revelados en la historia para que los estudiantes puedan asirse a ellos y apropiarse de los conceptos.

En segundo lugar, para la enseñanza de la química, el enfoque del constructivismo dialéctico en donde el conocimiento se desarrolla a través de la interacción de factores internos (cognitivos) y externos, entorno biológico y sociocultural (Giere, 2004). Que pretende una comprensión real del contexto y las interrelaciones que en él se desarrollan, enfatizando en la comprensión de los fenómenos, en lugar de aislar los procesos característicos de la ciencia; este enfoque se centra en el intento de un modelo reflejo de la función organizacional interna de los individuos en orden de la reconstrucción racional de la génesis de la representaciones de los sujetos, este marco adoptado por Niaz (2001, 2012),

presenta una perspectiva filosófica de la química que facilita su comprensión dentro del proceso de enseñanza y aprendizaje.

En tercer lugar, al comparar los enfoques propuestos por Giere y Niaz, se encuentra la posibilidad de generar estrategias de enseñanza que redunden en el aprendizaje de los estudiantes, permitiéndoles el acceso a una reflexión acerca de la naturaleza desde las diversas teorías de la ciencia que ellos aprenden y su utilización en un contexto determinado.

Desde este punto de vista, la historia y la epistemología nos propiciarán un camino para reconocer que las llamadas leyes y teorías de la ciencia no son constructos estáticos y universales, si no que corresponden a una parte de la realidad que queremos desentramar. Es oportuno, introducir algunas ideas sobre los conceptos de ley y teoría científica, aquí resulta importante aclarar que en la actualidad se han generado grandes debates acerca de estos términos y sus significados dentro de la comunidad de la filosofía de la ciencia (Niaz, 2012, 2001; Gallego-Badillo, Pérez-Royman y Gallego-Torres, 2009; Giere, 1999), sin embargo acogeremos las referencias establecidas por Giere y Niaz sobre los conceptos de ley y teoría científica para el enfoque de enseñanza y aprendizaje de la ciencia.

Estos autores sugieren que los progresos de la ciencia no necesitan ser caracterizados como una dicotomía entre teoría y ley, más bien, estos se caracterizan como un problema progresivo, ya que esta idealización de las leyes científicas en orden de permitir la comprensión de su naturaleza conduce a generar en los estudiantes imágenes de las leyes como formulaciones infalibles, universales e irrefutables, que no favorecen el ejercicio del razonamiento y la reflexión por parte de los estudiantes (Niaz, 2012; Gallego-Badillo, Pérez-Royman y Gallego-Torres, 2009; Giere, 1999). Entonces las leyes científicas son explicaciones deducibles de planteamientos teóricos admisibles solo dentro de un modelo científico dado y no pueden ser aplicados a otros modelos. (Niaz, 2001).

Asimismo, al analizar las leyes ponderales de la química como leyes fundamentales de esta ciencia, algunos interesados en su estudio decidieron

retomar la categoría de modelo científico y su taxonomía para describirlas. Es así como, al hacer referencia a los modelos que han dominado el desarrollo de la química, se recomienda acudir a la reconstrucción histórica, no solo para hacer la diferencia entre física y química, si no también, para precisar que no existen modelos puros, dado que cada modelo es en realidad, una representación de un objeto de conocimiento, y no la realidad en sí (Gallego-Badillo, Pérez-Royman y Gallego-Torres, 2009).

De ser aceptadas estas propuestas de enfoque para la instrucción, conducirían a un cambio significativo en la enseñanza de la química que apuntaría a una modificación en la construcción de los modelos en las aulas de clase; es importante resaltar también, que el desarrollo de la ciencia obedece en gran parte al contexto específico en relación con la cultura, además, la concepción de ley desde el campo de la física y la influencia de la física en el surgimiento de la química como disciplina científica, se hace hincapié en el hecho que las leyes obedecen a modelos científicos y solo pueden ser admisibles dentro del mismo (Niaz, 2012; Gallego-Badillo, Pérez-Royman y Gallego-Torres, 2009).

A manera de resumen, se puede decir que:

- La historia y la epistemología, muestran los múltiples y enriquecidos caminos o métodos de los cuales la ciencia se ha servido para alcanzar el conocimiento, puesto que no existe un único método irrefutable y metódico para acceder al saber.
- La historia y la epistemología, ofrecerán un sin fin de contextos tan cotidianos de los cuales se han valido los hombres y mujeres de ciencia para abordar y encaminarse a la solución de problemas, que no son más que situaciones de la vida cotidiana conducentes a mejorar las condiciones de vida en la sociedad.
- Finalmente, los seres humanos en su naturaleza, no pueden pretender dejar de lado nuestra innata capacidad de cuestionarse y reflexionar sobre los fenómenos que acaecen a su rededor, ya sea para que a través de esta reflexión

alcancé a transformarlos o para saber que se es capaz de ver el mundo desde deconstrucción razonada.

2.2. LOS MODELOS EN LA CIENCIA Y EN EDUCACIÓN EN CIENCIAS

Al interior de la construcción teórica de la didáctica de las ciencias naturales como campo de conocimiento científico, los especialistas han precisado acerca de la importancia que debe tener la identificación de un objeto del conocimiento como un conjunto de problemas para resolver conceptual y metodológicamente; en este contexto existe un consenso sobre la idea de que el modelo recoge los discursos en el que se da cuenta de manera descriptiva y explicativa, de los campos de saber y de investigación en los que se trabajan en los diversos grupos. Siendo así, las teorías sobre los modelos científicos, la historia y epistemología servirían de ruta para lograr consolidar el objeto de conocimiento de esta nueva disciplina (Gallego-Badillo, 2004, 2009).

De este modo, cuando los profesores de ciencias naturales se introducen en la tarea de enseñar ciencias, deben reflexionar sobre los mecanismos y rutas mediante los cuales deben apropiarse los y las estudiantes cuando se aproximan al conocimiento de la realidad. Para estos fines, tanto el maestro de ciencias como sus estudiantes se introducen en el estudio de las hipótesis, teorías, premisas y modelos que la ciencia ha construido históricamente. Desde la mirada de la didáctica de las ciencias, se ha abierto el debate con relación a las implicaciones que pueda tener el hecho que, desde las aulas de clase de ciencias naturales nos dediquemos a la tarea restrictiva de estudiar los modelos elaborados por los científicos. Este cuestionamiento ha llevado a reconsiderar la utilidad de los modelos en la didáctica de las ciencias (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009), asunto al cual nos referiremos en términos generales en este apartado del marco teórico.

Para empezar, las prácticas de investigación juegan un papel central en la generación de conocimiento científico, y los modelos son instrumentos esenciales para producir razonamiento científico en los niños y adultos, de tal modo que estos cuenten con recursos disponibles a la hora de afrontar la comprensión de la realidad (Rodríguez, Marrero y Moreira, 2001; Palmero y Moreira, 1999). Este capítulo del marco teórico enfatiza en la construcción y uso de modelos en la educación en química, siendo un aspecto central de la ciencia, la modelización de fenómenos complejos del mundo real (Rodríguez, Marrero y Moreira, 2001).

2.2.1. Perspectivas de Giere sobre los modelos de la ciencia: para tener una visión más amplia de los modelos y la modelización en ciencias, se analizarán brevemente los enfoques sugeridos por Giere (2004, 2002, 2001, 1999, 1995), Moreira y Rodríguez (2002, 2001, 1999) los cuales se encuentran dentro de las perspectivas de las teorías cognitivas de la filosofía de la ciencia y aportan elementos significativos para comprender y articular los modelos científicos y la historia y la epistemología de las ciencias al proceso de enseñanza y aprendizaje.

Para Giere es claro que la ciencia es una actividad cognitiva (2004, 2002, 1995) es decir, una actividad en la que se produce conocimiento. En sus teorías este autor describe las explicaciones científicas empleando recursos de las ciencias cognitivas, en este referente, un modelo es una formación abstracta de un sistema, estas formaciones abstractas generalmente se desarrollan como distribuciones cognitivas de pensamiento o mapas cognitivos, es decir, en los cerebros de los seres humanos y otros animales, las neuronas actúan como redes para el reconocimiento de complejos patrones y el desarrollo de entradas para su desarrollo, entonces, las generalizaciones en el cerebro humano reconocen los patrones de pensamiento que requiere cada actividad cognitiva fundamental, como el uso del lenguaje por ejemplo (Giere, 2004).

Es importante comentar que, una teoría cognitiva utiliza ampliamente la idea de representación, esto es, la idea de que los seres humanos crean representaciones

mentales internas de su entorno y de ellos mismos; estas representaciones constituyen una conexión con el mundo, y que está proporcionada por un vínculo entre los modelos y un sistema identificable en el mundo real -teorías, hipótesis, postulados y modelos de la ciencia- (Giere, 1995).

Con la siguiente cita, en la que Martínez-Freire (1997, p. 115) elabora una interpretación sobre lo que para Giere significan las ciencias cognitivas, con el propósito de ir elaborando una idea más generalizada sobre las teorías de Giere, encontramos que:

“las ciencias cognitivas proporcionan una explicación de los mecanismos casuales que operan en los científicos individuales comprometidos en la actividad de hacer ciencia”

Al examinar este planteamiento, el estudio de los mecanismos que llevan a cabo los científicos cuando realizan un descubrimiento específico podría mostrar las rutas de producción de dichos conocimientos. Así las cosas, dentro de esta misma teoría se argumenta que las unidades de estudio de la ciencia no deben ser los enunciados científicos, sino, los científicos individuales en cuanto agentes cognitivos, esto se argumenta en el hecho que son los científicos que construyen los modelos individualmente dentro de su contexto social y posteriormente los someten a aceptación en la comunidad científica (Zamora, 2000; Martínez-Freire, 1997).

Teniendo en cuenta lo anterior, los modelos son representaciones a nivel cognitivo que los seres humanos desarrollan para crear imágenes del mundo en el que viven y de ellos mismos. Además, cuando los seres humanos exteriorizan sus modelos utilizan una serie de recursos como palabras, diagramas o símbolos. De manera más específica los modelos científicos como revelaciones de los mapas cognitivos contienen elementos no lingüísticos y lingüísticos que se relacionan entre si dentro de una teoría mediante relaciones cognitivas (Martínez-Freire, 1997; Zamora, 2000).

El comportamiento y características de un modelo proveerán una representación del proceder real del mundo, proporcionando una forma de comprensión de la

situación real. Es importante resaltar que para Giere (1995) los modelos son representaciones de entes abstractos desarrollados mediante procesos cognitivos de los seres humanos que no pueden ser literalmente falsos o verdaderos. Es así como, las teorías científicas que explican fenómenos del mundo consistirán en familias de modelos y a su vez cada una de ellas llevara consigo una hipótesis de aplicabilidad que afirmarí que determinado modelo será más o menos semejante a algún sistema o fenómeno del mundo real (Palmero y Moreira, 1999; Giere, 1995).

Siendo así, las teorías científicas consistirían en familias de modelos y cada familia de modelos lleva asociada una hipótesis de aplicabilidad que afirmarí si el modelo es similar o no a un sistema o fenómeno del mundo real. Hay que advertir que, si los modelos son mapas o representaciones cognitivas individuales exteriorizadas por los científicos de manera particular y personal para explicar un sistema determinado del mundo real, podrán existir diferentes modelos que expliquen un mismo fenómeno, y que este dependerá sobre todo de los criterios de semejanza o correspondencia con la realidad, también se debe tener en cuenta, que estas teorías podrían cambiar, modificando sus modelos, agregando otros nuevos o alterando sus hipótesis de aplicabilidad (Zamora, 2000; Giere, 1995).

Con respecto a la teoría de Giere (2004) es importante destacar los siguientes aspectos:

- Sus postulados se instauran dentro de las teorías cognitivas de la filosofía de la ciencia.
- Las teorías constituyen familias de modelos en los cuales hay una relación de semejanza entre el modelo y el mundo real y que dicha relación está asociada a una hipótesis de aplicabilidad.
- Las teorías científicas no son verdades absolutas e irrefutables, por lo tanto sus modelos tampoco, estos pueden ser remplazados, modificados o complementados en el transcurso de la historia.

- El concepto de verdad dentro de los modelos científicos es de pequeño valor, puesto que siendo los modelos sistemas abstractos derivados de las representaciones cognitivas que los científicos desarrollan del mundo, no corresponde a la realidad en sí; sin embargo estos guardan similitud con sistemas particulares del mundo.

2.2.2. Modelos y Modelización en la Educación en Ciencias: actualmente, en muchos estudios en el campo de la educación en ciencias naturales se ha hecho evidente la influencia del pensamiento de Ronald Giere, algunos estudios son: Gilbert (2004, 1998), Gallego-Badillo (2009, 2004), Adúriz-Bravo (2012) y Adúriz-Bravo y Izquierdo-Aymerich (2009), Lydia Galagovsky e Izquierdo-Aymerich (2001). En estos estudios, se encuentra que en el campo de la investigación en la enseñanza de las ciencias se observa una necesidad urgente de transformar las prácticas pedagógicas en el aula de ciencias naturales, esto se debe en gran parte a las múltiples dificultades que ya se han mencionado en otros apartados, que en las últimas décadas han aquejado a los aprendices de las ciencias y también, a sus enseñantes.

Es así como, en la construcción científica de la didáctica de las ciencias se manifestó que la teoría sobre los modelos mentales y la modelización aportan elementos epistemológicos para que la didáctica de las ciencias alcance la categoría de científicidad (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009) ¿Pero cómo podría ser esto? Para Gallego-Badillo (2009) a partir de los modelos se pueden emprender estudios acerca de cómo se desarrolla en los niveles de educación básica y media la socialización de los progresos históricos del pensamiento y actividad científica.

En torno a esto, se analizó la situación del papel que desempeñan los libros de texto en el proceso enseñanza y aprendizaje de las ciencias, se observa entonces, que los textos de ciencia en los diferentes niveles de educación, en la actualidad

presentan los cuerpos teóricos científicos como un conjunto de teorías, definiciones, formulas o ecuaciones desarticuladas de una interpretación a luz de los modelos científicos y su construcción histórica (Niaz y Montes, 2012; Adúriz-Bravo,2012), convirtiendo esta situación en una dificultad para la comprensión del mundo desde una visión científica y generando posiblemente que las teorías científicas sean recordadas como definiciones y leyes, y posteriormente olvidadas cuando los estudiantes terminen su periodo escolar (Adúriz-Bravo,2012).

Al lado de todo esto, se encuentra la inquietud sobre el papel de los modelos en el aprendizaje de las ciencias y la química, para abordar este interrogante es necesario entender primero cuál es la concepción de modelo apropiada para incorporar desde la didáctica de las ciencias naturales y las estrategias de enseñanza más adecuadas que vayan orientadas a promover el aprendizaje de los estudiantes.

En el campo de la psicología cognitiva, la filosofía cognitiva y la lingüística se ha introducido el término “representaciones internas” para expresar los productos de la interacción entre lo que el individuo ya sabe y la nueva información, que es posteriormente traducida en nuevos significados; significados o representaciones que se pueden expresar como teorías en la medida en que las teorías son sistemas externamente representados con fórmulas e, internamente representados de alguna manera peculiar por la mente de quien comprende (Rodríguez, Marrero y Moreira, 2001; Zamora, 2000)

Sobre la palabra modelo son muchas las definiciones que podemos encontrar, en este punto es importante aclarar que, para este estudio las nociones que sobre este término hemos de adoptar se encuentran a la luz de las perspectivas de las ciencias cognitivas, de manera particular nos referiremos a los modelos mentales. Un modelo mental se describe como un intermediario entre la realidad y los individuos, siendo representaciones simplificadas de manera analógica, estructural y funcional de los hechos o fenómenos que representan (Rodríguez y Moreira, 1999).

Al respecto conviene aclarar que los modelos mentales son *“el punto central del razonamiento y de la comprensión de cualquier fenómeno, evento, situación o proceso del mundo real o imaginario”* (Greca y Moreira, 1998, p. 1); también, un modelo mental en una forma de representación individual, privada y personal, desarrollada por un individuo o un grupo (Gilbert, 2004). Sin embargo, una aversión de este modelo puede ser transferida al dominio público convirtiéndose en un modelo expresado (Ibíd., 2004).

Habría que decir también que en el campo de la psicología cognitiva el estudio de los modelos mentales ha sido desarrollado para explicar los procesos de pensamiento superior que les permiten a los individuos trazar y diseñar procedimientos mentales de representación del mundo real o imaginario; esto se fundamenta en una semántica del lenguaje mental en los que los significados de las palabras son procedimientos de descomposición que relacionan los modelos mentales con el mundo real (Rodríguez, Marrero y Moreira, 2001).

Se realiza, para orientar el estudio, una descripción general sobre los modelos desde las interpretaciones de los autores arriba mencionados. Para Adúriz-Bravo e Izquierdo- Aymerich (2009), un modelo es un esquema teórico de un sistema o una realidad compleja que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento. Los modelos se pueden definir también como *“una representación de un objeto de conocimiento y no de la naturaleza en sí”* (Gallego-Badillo, Gallego-Torres y Pérez-Miranda, 2009).

De otro lado, autores como Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001) en un artículo sobre los modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales, proponen elaborar una clara diferenciación entre dos acepciones del término modelo, modelos de sentido común y modelos científicos. Los modelos de sentido común, que se originan de la intuición e ideas o concepciones alternativas de las personas; y los modelos de la ciencia, que son el producto de un proceso sistemático y riguroso de investigación.

De manera particular, se puede ver como los autores le dan dos sentidos o significaciones a la acepción de modelo, esta facultad que tienen los modelos de tener multiplicidad de alcances ha sido una complicación a la hora de teorizar sobre este tema. Es por ello, que en varios artículos revisados se encontró que sus autores recurren a un proceso de caracterización, categorización y clasificación de los modelos que desde la ciencia se han desarrollado, con el propósito de construir rutas para la incorporación de las teorías de los modelos mentales en la didáctica de las ciencias.

Dentro de este contexto, se analizó una primera acepción que se desarrolló a manera de dicotomía entre dos significados; en el primero los modelos son “modelos de”, y en el segundo, se hace alusión a los “modelos para” (Adúriz-Bravo, 2012).

Se examinará primero la expresión “los modelos de”, la noción puede ser muy clara, los modelos son representaciones de algo que se encuentra relacionado con el mundo real, es decir, como una simbolización del objeto o fenómeno en su ausencia, “*en este caso el modelo es la representación que se hace y se puede clasificar según el lugar que ocupan en el proceso de representación en: modelos-input (cuando denotan los que está allí para ser modelizado); y modelos output (cuando denotan el resultado de la instancia de modelización)*” (Ibíd., p. 251)

Por ejemplo, un metal es una categoría que se refiere a un grupo de sustancias reales que guardan entre sí ciertas similitudes, cuando el científico analiza diversos tipos de metales a la luz de las teorías, permitiéndose comprender lo que el modelo le expresa, estaremos hablando de un modelo **input**, puesto que los objetos reales, en este caso los metales, están allí para ser modelados, de otro lado, cuando este individuo ya ha incorporado el modelo a sus concepciones previas, no le será necesario tener siempre presente un metal para hacerse a una idea de los que este es, puesto que dicho objeto ya fue modelizado, en este caso tendremos un modelo **output**.

Como segundo, se tiene la acepción de “modelos para”, en esta dirección los modelos “*son diseñados para satisfacer una serie de pretensiones epistémicas sostenidas por la actividad científica: entre ellas describir, entender, comprender, controlar, transformar o comunicar la realidad natural*” (Adúriz-Bravo, 2012, p. 5).

Desde esta mirada, para Adúriz-Bravo (2012) los modelos tienen una clasificación funcional:

- Modelos exploratorios, para aproximarnos a nuevos eventos o, a un fenómeno desconocido, por ejemplo cuando **Antoine Henri Becquerel** descubrió de manera accidental la radiactividad natural al desarrollar investigaciones sobre la luz y la fosforescencia.
- Modelos taxonómicos, para describir y clasificar, como fue el caso de **Dimitri Ivánovich Mendeléiev**, cuyas investigaciones sobre las propiedades de los elementos lo llevaron a formular la ley periódica.
- Modelos heurísticos, para crear nuevos significados, tal fue caso de **Antoine Lavoisier** quien con su estudio permitió darle otro significado al proceso de combustión.
- Modelos Cibernéticos, para controlar procesos, como el de la producción y refinamiento del acero desarrollado por **Henry Bessemer**.
- Modelos didácticos para explicar a otros, son este tipo de modelo los que los docentes utilizamos para el desarrollo de las clases de ciencia.

Para los investigadores en educación en ciencias resulta claro que los modelos son esencialmente para la producción y discernimiento del conocimiento científico, convirtiéndose en un puente entre las teorías científicas y la realidad, consintiendo de esta manera la elaboración de abstracciones de entidades del mundo real basadas en las interpretaciones de las teorías producidas de modo que, al ser comparadas con la realidad guardan ciertas similitudes (Gilbert, 2004).

Sin embargo, cuando los científicos se encaminan en el reto de crear modelos que permitan exteriorizar las teorías como productos de su investigación y razonamiento, lo hacen de diversas maneras, estas maneras de representar han

generado que se despliegan multiplicidad de versiones de los modelos exteriorizados, este fenómeno ha llevado a grandes debates y complicaciones sobre la posibilidad de la enseñanza de los modelos, sin embargo, en el campo de la educación en ciencias se han logrado acuerdos en cuanto a la clasificaciones de los modelos científicos teniendo en cuenta la forma como los científicos los representan o expresan (Gilbert, 2004), estas son:

- Modelo científico: el que se construye como producto de un proceso científico de investigación.
- Modelo consenso: cuando un grupo de científicos trabaja y se ponen de acuerdo sobre la manera de representar sus teorías.
- Modelos históricos: cuando a través de la historia un modelo es remplazado por otro para una mejor comprensión y explicación científica.
- Modelos curriculares: son versiones de los modelos históricos o científicos, elaborados para adaptarse a los planes de estudio en diversos niveles de formación.
- Modelos de enseñanza: que se desarrollan especialmente para la enseñanza de los modelos curriculares.
- Modelos híbridos: que mezclan características de diferentes modelos.

Cabe considerar, que los papeles de los modelos en la ciencia no son fáciles de cumplir, empezando por el hecho de que los roles de los modelos tienen una gran variedad de estatus ontológicos. De otro lado, una versión simplificada de los modelos científicos puede ser producida como modelos curriculares para ayudar al aprendizaje de los estudiantes. En otras ocasiones el profesor utiliza híbridos que fusionan características de diferentes modelos históricos, para favorecer el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Se debe considerar otra situación adicional para la educación en ciencias, es que cualquier versión del modelo (mental, expresado, histórico científico o híbrido curricular) se pone al dominio público mediante el uso de varias representaciones, entre ellas (Gilbert, 2004):

- **Hormigón o material:** que es una representación tridimensional y de material resistente, por ejemplo, las esferas de icopor que se usan para representar átomos o moléculas de compuestos.
- **Verbal:** describen las entidades y relaciones entre ellas, también pueden ser metáforas o analogías, como cuando comparamos los enlaces covalentes apolares como tipos de atracción en donde las fuerzas para ambos extremos del polo son iguales como si se jalaran de los extremos de una cuerda con la misma fuerza.
- **Visual:** utiliza gráficas, esquemas, diagramas y representaciones bidimensionales, como también software o simuladores. Un ejemplo de este son los programas que se utilizan para representar los niveles y subniveles del átomo en la configuración electrónica, o cuando utilizamos una gráfica para representar reacciones termoquímicas de naturaleza exotérmica o endotérmica.
- **Gestual:** uso del cuerpo o sus partes para representar o dar a entender un concepto, por ejemplo, cuando utilizamos las manos para representar enlaces covalentes sencillos, dobles y triples.

Ahora bien, para poder comprender las formas como se expresan as diversas versiones de los modelos, se debe considerar las que según Adúriz-Bravo (2012) son las características menos controvertidas de los modelos:

1. Los modelos son representaciones simplificadas de algo que se diseña con la intención de entender ese algo, que puede ser un objeto, sistema, o proceso del mundo real.
2. *“Los modelos son instrumentos para intentar responder las preguntas científicas”* (Ibíd., 2012, p. 2).
3. Los modelos guardan similitudes con los fenómenos que representan.
4. Los modelos son distintos y más simples que los fenómenos que representan porque responden en un significado de para qué, dónde y sobre las razones por las cuales se produjeron.

5. Los modelos se pueden ampliar y corregir puesto que son analógicos de la realidad que representan.
6. Los modelos se construyen en el transcurso de la historia.
7. Los modelos deben ser aceptados por la comunidad científica mediante consensos.
8. Los modelos se pueden catalogar o clasificar en icónicos, conceptuales y simbólicos.

Cuando los individuos fabrican sus modelos sobre la naturaleza, lo hacen en diversos niveles, estos de acuerdo con Gilbert (2004) pueden ser tres: 1) nivel uno, los modelos como copias de la realidad; 2) nivel dos, los modelos que expresan algunas características de la realidad, pero que aún conservan una predominante copia de la realidad; 3) nivel tres, identificado como nivel de experto, este nivel se crea como resultado de una evaluación de las ideas y no una copia de la realidad.

Otros autores, describen dos niveles de comprensión del modelo, un primer nivel analógico el cual está caracterizado por una comprensión más cualitativa y descriptiva de los fenómenos en donde se involucran imágenes, dibujos y explicaciones; el segundo nivel o nivel proposicional, el cual se caracteriza por la posibilidad de hacer predicciones, por tanto, en este nivel de los modelos se utiliza con mucha frecuencia, ecuaciones, fórmulas y algoritmos (Adúriz-Bravo, 2012; Greca y Moreira, 1998).

Es importante analizar, el papel que juegan los modelos en la práctica, esta otra manera se refiere a examinar como esos modelos llegaron a desempeñar el papel que tienen en la actualidad, pues bien, a través de la historia a menudo se pueden ver las contingencias que dieron lugar a la formulación de los modelos, además los orígenes de un concepto son a menudo filosóficos (Giere, 1995); sumado a todo esto, los resultados de algunos estudios sugieren que la poca incorporación de un análisis histórico y epistemológico de las teorías científicas en los libros de texto de todos los niveles de educación, es una de las grandes dificultades que se

presentan a la hora de abordar el estudio de la ciencia (Furió y Vilches, 1997; Raviolo, 2007; Adúriz-bravo, 2012; Niaz y Montes, 2012).

Ciertamente, para tener una mejor comprensión de los modelos se debe recurrir a un análisis histórico y epistemológico, ya que, entre otras cosas, los modelos en palabras de Adúriz-Bravo (2012, p.5) son *“hijos de su lugar y su tiempo, se dirigen a responder una pregunta vigente en un momento de la historia de la ciencia”*. Alrededor de esto, Ronald Giere (2001) afirma que la historia es un agente básico para la enseñanza de las ciencias, debido a que, las bases históricas alineadas con la filosofía en la enseñanza de las ciencias nos consienten una mirada a los actores de la historia, los y las científicas que producen los resultados de la ciencia que ahora tenemos. Entonces, finalmente se empieza a encontrar un lugar para la ciencia cognitiva en el análisis de los procesos cognitivos que están claramente revelados en forma de modelos en la historia (Ibíd., 2001).

El papel central de los modelos en el desarrollo del conocimiento fue reconocido a mediados del siglo XX y se han convertido en una forma dominante de pensar en química, algo que los químicos hacen sin tener que analizar e incluso ser conscientes de los mecanismos del proceso (Gilbert y Boulter, 1998).

La enseñanza de la química actualmente sugiere que los alumnos de todos los niveles de educación, se impliquen en la construcción de modelos más que solo aprender modelos reconocidos por la ciencia, aproximándose a una comprensión epistemológica de estos (Adúriz-Bravo, 2012), todo estudiante de química tiene una versión de modelo sobre los fenómenos de la naturaleza, construido a partir de sus concepciones alternativas, ellos utilizan estos modelos para intentar comprender la realidad. Entonces, cuando los educandos articulen sus modelos alternativos con los modelos de la ciencia podrán construir una versión nueva de modelo más fundamentada epistemológicamente.

En este sentido, un modelo en química está basado sobre se cree es clave, para fundamentar los principios químicos; su intento, es expresar la razón de ser de los modelos, esto es para predecir o explicar los más importantes aspectos de una

situación actual, en este caso el aprendizaje de las leyes ponderales en contexto. Siendo así, la modelización necesariamente involucra crear aproximaciones y simplificar suposiciones en el orden en que el modelo pueda ser analizado y usado en detalle.

En este orden de ideas, esta visión de los modelos se ve reforzada por investigaciones que identifican características de los modelos basados en la filosofía de las ciencias, por ejemplo, Oh y Oh (2011) exponen un artículo cuyo propósito fue el de proporcionar una revisión de la naturaleza de los modelos y sus usos en el aula de ciencias. En concreto, estos autores hallaron que la idea que tienen los filósofos de las ciencias y los investigadores de la didáctica de las ciencias acerca de los modelos y modelización son establecidas a través de cinco subtópicos: a) significado del modelo, b) propósito de la modelización, c) multiplicidad de modelos científicos, d) cambios en los modelos científicos y, e) usos de modelos en la educación en ciencias:

- En primer lugar, un modelo puede ser definido como una representación de un objetivo y sirve como un puente conectando una teoría y un fenómeno.
- En segundo lugar, un modelo juega el rol de describir, explicar y predecir fenómenos científicos y comunicar ideas científicas a otros.
- En tercer lugar, varios modelos se pueden desarrollar en la ciencia porque los científicos pueden tener ideas diferentes acerca de lo que ven y la manera cómo funcionan, y porque hay una gran variedad de recursos semióticos disponibles para la construcción de modelos.
- En cuarto lugar, los modelos científicos son probados empírica y conceptualmente, y cambian junto con el proceso de desarrollo de los conocimientos científicos.
- En quinto lugar, en el aula de ciencias, no sólo los profesores sino los estudiantes también pueden tomar ventaja de los modelos que se dedican a las actividades de modelización diversas.

El panorama presentado en esta investigación se puede utilizar para educar a los profesores de ciencias y animarles a utilizar los modelos científicos adecuadamente en sus aulas, en particular en el caso de la química.

Con respecto a la relación de los modelos y el currículo, Gilbert (2004) argumenta que, para un mejor diseño, incorporación y desarrollo de los currículos de ciencias, estos deben introducir la historia de los modelos relevantes de la ciencia para favorecer la comprensión de los aspectos o teorías que dichos modelos tratan de representar.

En este sentido, se han venido desarrollando una serie de investigaciones en el aula de ciencias, donde se da cuenta de la fuerza e importancia de la modelización para construir formas particulares en el aprendizaje. Por ejemplo, Rojas (2009) realizó una investigación sobre la modelización de un aspecto particular de la biología en donde se determinaron las concepciones de los estudiantes sobre la flor y así construir un modelo didáctico alternativo. Los resultados muestran que las propuestas tradicionales de modelos de aprendizaje adolecen de elementos profundos para la comprensión de estos fenómenos.

Este estudio, muestra que es preciso realizar una re-contextualización de la forma como se enseñan y se aprenden los conceptos científicos. En este mismo sentido, se determina que para crear un modelo didáctico adecuado, es preciso que responda a las necesidades de aprendizaje de los estudiantes en concordancia con los conceptos científicos.

Así, para algunos científicos como Giere y Nersessian (1992, citado en Rojas, 2004) la ciencia es un tipo de actividad humana compleja y difícil de describir, en la que se construyen teorías procedentes de las representaciones mentales. Sin embargo, para esta autora los modelos que proponen los científicos no son tan diferentes de los modelos que cualquier persona construye para representar su comprensión del mundo. En la misma línea de ideas, el filósofo de la ciencia Giere, propone modelos cognitivos de la ciencia apoyados en conceptos de la racionalidad moderna que se representan con diferentes grados de abstracción.

Finalmente, cuando un modelo teórico no es comprendido en su totalidad se produce un modelo mental híbrido, el cual proporcionará una representación del mundo para el individuo que lo construye.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

El termino metodología se refiere a la manera como enfocamos o abordamos los problemas y buscamos sus respuestas, que en las ciencias sociales se relaciona con la forma de realizar una investigación (Taylor y Bogdan, 1987).

Tradicionalmente, en el campo de investigación en educación se reconocen tres paradigmas que orientan el quehacer investigativo: el paradigma materialista mecánico, el paradigma idealista y el paradigma critico dialectico. En este sentido, los paradigmas son significativos para la investigación, en la medida en que estos orientan la manera como analizamos y abordamos la realidad, y en general proporcionan las bases epistemológicas y pragmáticas de la investigación (De la Herrán, Hashimoto y Machado, 2005).

Teniendo en cuenta el propósito de esta investigación, el cual está relacionado con el análisis de la incidencia que tiene la enseñanza de las leyes ponderales desde una perspectiva histórica y epistemológica, sobre la construcción de los modelos mentales por parte de los estudiantes de grado decimo en el contexto de un estudio de caso que utiliza como estrategia de instrucción una unidad didáctica orientada hacia el enfoque ya descrito, se hace necesario identificar un paradigma que corresponda con la perspectiva histórica y epistemología escogida en nuestro estudio, para tales fines, encontramos en el paradigma crítico dialectico un sustento filosófico, histórico, cultural y social en el que se tienen en cuenta las capacidades críticas de los sujetos en el estudio de los problemas educativos, y además, sus postulados resultan coherentes con las características del enfoque escogido en nuestra intervención.

Así, el paradigma critico dialectico presupone por un lado que, los problemas de investigación deben ser pensados de manera holística, y no como un conjunto de partes desarticuladas e independientes; por el otro, que los informantes (los estudiantes de grado decimo) como sujetos o actores sociales se apropiarán del conocimiento y construirán significados a través de la relación sujeto-sujeto,

sujeto-objeto en un contexto histórico y cultural dado (De la Herrán, Hashimoto y Machado, 2005; Yuni y Urbano, 2005); de este modo, el pensamiento de los actores no está separado de la realidad si no que ellos participan activamente en su creación. Entonces, desde la perspectiva del paradigma crítico dialectico, en el que se reconoce la relación entre pensamiento y realidad, nos podemos apoyar para comprender que el proceso de aprendizaje de los estudiantes constituye una construcción de significados como productos de dicha relación dialéctica en un contexto determinado.

De otro lado, el paradigma crítico dialectico va más allá de la mera interpretación de la realidad, como lo propone el paradigma idealista; o de una explicación de los fenómenos, como en el caso del paradigma positivista. El paradigma crítico dialectico, supone una reconstrucción expresada en nuevos significados, que se fundan mediante una crítica de la realidad que permite analizarla holísticamente para identificar alternativas de cambio (De la Herrán, Hashimoto y Machado, 2005). Para ello, el paradigma crítico dialectico retoma de las corrientes idealistas y materialistas, características para la construcción del proceso de investigación, rescatando de estos, elementos propios de ambos diseños. Así, de acuerdo con las necesidades del investigador, en el paradigma crítico dialectico se pueden abordar especificidades inherentes de las corrientes idealistas al igual que de las materialistas (Ibíd.).

3.1. Tipo de diseño:

Para una mejor comprensión del tipo de diseño de esta investigación, se ha realizado una caracterización teniendo en cuenta su finalidad, alcance, profundidad, su marco de acción, entre otros. De este modo, la pesquisa es de carácter práctico pues busca la resolución de un problema y su aplicación inmediata. Dado que, la investigación se desarrolla en un momento determinado del tiempo caracterizando los modelos construidos por los estudiantes en ese lapso, se puede delimitar, como del tipo transversal (Salkind, 1999).

Ahora, partiendo de las propuestas de Arnal, Del Rincón y Latorre (1992), como uno de los propósitos de esta investigación es darle solución a un problema práctico, que conduzca a la descripción de un fenómeno educativo desde su estructura y sus dinámicas para mejorar el acto didáctico y la calidad de la educación, se puede ubicar dicho estudio como práctico, que incorpora varias etapas o momentos. Además, esta investigación durante su desarrollo abarca varios momentos, un momento exploratorio y un momento descriptivo, para percibir de qué manera se patentizan esos momentos podemos describir las características de los modelos de los estudiantes al iniciar el proceso de intervención y posteriormente se analiza la incidencia del enfoque histórico epistemológico en la construcción de los modelos mentales al finalizar la intervención.

De este modo, la investigación es de campo en la medida que el análisis de los hechos se hará desde su desarrollo natural, enfatizando en la singularidad y particularidad del proceso de enseñanza y aprendizaje, siendo esta última una característica propia de un estudio de tipo ideográfico.

De esta manera y en consonancia con los propósitos del estudio, se hace necesario decantarlo por un paradigma como el crítico dialéctico, en el cual, se puede diseñar una propuesta de enseñanza potencialmente significativa basada en la historia y epistemología de las ciencias, y en el planteamiento de situaciones cotidianas para implementarla en el aula de clase, promoviendo en el estudiante la apropiación de los saberes conceptuales, procedimentales y actitudinales referidos a las leyes ponderales.

Entonces, y en concordancia con las perspectivas del paradigma señalado en el párrafo anterior, en donde existe una relación dialéctica entre la realidad, el sujeto y su contexto (De la Herrán, Hashimoto y Machado, 2005) se considera que el enfoque más adecuado para el alcance de los objetivos de la investigación, es el estudio de caso. Ya que, bajo la óptica de este, los fenómenos educativos y las dinámicas de la clase desde múltiples perspectivas, se analizan y comprenden en el contexto de los agentes implicados en el acto educativo.

Ahora bien, para Stake (2007), el estudio de caso tiene una complejidad única al orientarse en la búsqueda de particularidades y singularidades de un caso, para comprender su actividad en circunstancias importantes. De otro lado, este mismo autor clasifica el estudio de caso de la siguiente forma: a) intrínsecos, cuando el propósito del estudio de caso es aprender profundamente sobre un caso singular, sin pretender generalizaciones; b) instrumental, cuando el estudio de caso indaga sobre aspectos generales de un caso particular; y c) colectivo, en el que se estudian grupos de personas o de casos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se reconoce en el estudio de caso instrumental algunas características asociadas con las premisas de esta pesquisa, en la medida que se buscan generalidades dentro de la investigación, que se relacionen con la incidencia de la enseñanza de las leyes ponderales desde una perspectiva histórica y epistemológica sobre el aprendizaje de los estudiantes.

3.2. Participantes y contexto

En el estudio participaron 40 estudiantes del grado decimo de un grupo mixto con edades comprendidas entre los 14 y 17 años; de los cuales actúan como informantes 6 de estos sujetos. Los estudiantes informantes o quienes conforman la muestra- se han escogido de acuerdo con los siguientes criterios:

- I. Disponibilidad y disposición de los sujetos para participar y asumir el rol de informantes.
- II. Desempeño de los educandos en las dos pruebas de evaluación de ideas previas, en función del nivel alcanzado según los criterios de evaluación establecidos en la unidad didáctica. Así, la selección de los informantes incluye dos estudiantes con desempeño alto o superior, dos con desempeño básico y dos con desempeño bajo.

De otro lado, los estudiantes participantes en la investigación, se encuentran matriculados en la I.E. San Antonio Padua (se menciona el nombre de la

institución como recomendación de las directivas de la institución), la cual se ubica en el municipio de Támesis Antioquia en un contexto estratificado socioeconómicamente entre 1 y 2. La institución educativa de carácter urbano, ofrece los niveles comprendidos entre educación pre-escolar y la educación media técnica. Los estudiantes que participan se encuentran cursando la modalidad de educación media técnica con énfasis en reparación y manteniendo de equipos de escritorio.

Respetando la identidad de los estudiantes y aludiendo a los principios ético-morales de la investigación, utilizamos nombres ficticios para identificarlos y designarlos en el proceso de recolección y análisis de la información. Como lo deja entrever, el tipo de muestreo no es probabilístico, sino, a conveniencia ya que se basa en la posibilidad de acceder a los sujetos informantes (Hernández, Baptista y Fernández, 2006).

Es importante resaltar que, cada uno de los estudiantes participantes en el estudio, accedió de forma voluntaria a participar de la investigación, así como, permitir ser filmado, fotografiado o entrevistado en el momento que fuera necesario. Como evidencia de lo anterior, los informantes y sus padres de familia o tutores legales firmaron constancia de dicha participación voluntaria mediante un consentimiento informado (Anexo A1). De acuerdo con lo anterior, los nombres que identifican a los estudiantes seleccionados del grupo-clase como informantes son:

- OV “Oliver Villegas”, tiene 17 años y durante las clases de química no es constante en sus manifestaciones de interés y curiosidad, lo que más le llama la atención son las actividades experimentales, sin embargo, se distrae con facilidad durante las construcciones conceptuales y explicaciones. Aunque se preocupa con cumplir con las actividades, muestra mayor dedicación por las actividades deportivas y lúdicas. Este alumno se ubica dentro de la escala de valoración en bajo, en el cuestionario dos de la fase de exploración.

- SM “Susana Morales”, también valorada con desempeño bajo en el cuestionario dos correspondiente a la actividad “¿y el agua cuál es?”, esta joven de 16 años de edad se muestra muy callada y tímida durante las clases de química, no manifiesta interés por la asignatura y en general su desempeño en clases es bajo, aunque muestra responsabilidad por presentar las actividades de aprendizaje.
- AA “Ana Agudelo” esta joven de 18 años se ha caracterizado por su responsabilidad frente a las actividades de aprendizaje que se le plantean, aunque manifiesta tener dificultades en el entendimiento de la mayoría de los tópicos de química, se nota cierto grado de interés por mejorar la comprensión, ya que en algunas ocasiones solicita asesorías o explicaciones por fuera de la clase o en el transcurso de las mismas. La estudiante fue evaluada con desempeño básico en la actividad desarrollada para la selección de los sujetos informantes.
- DG “David Guzmán” tiene 17 años y fue valorado con desempeño básico en la actividad aplicada para la selección de los sujetos informantes. Este joven es poco participativo en las actividades de clase, generalmente aprueba la asignatura con valoraciones mínimas o básicas, muestra mejor desempeño en las actividades colectivas o en equipos que en las individuales y manifiesta mucho entusiasmo por las actividades experimentales y de laboratorio. En ocasiones aborda a la profesora para tratar temas o preguntas relacionadas con aspectos tratados en clase, por lo que se puede decir que muestra cierto grado de interés por la disciplina.
- JR “Juan Reyes” de 16 años, muestra una muy buena disciplina de estudio, en repetidas ocasiones ha manifestado sus gustos por las ciencias en especial por la física, en sus tiempos libres le gusta leer libros de divulgación científica, filosofía y de física. Le gusta compartir con algunos profesores sus puntos de vista sobre la ciencia, los libros y documentales que acostumbra ver y los temas que se trabajan en clase, de los cuales

siempre se preocupa por profundizar en su tiempo libre. En el cuestionario dos de la fase de exploración fue valorado con desempeño alto.

- HA “Henry Agudelo” tiene 16 años de edad, se muestra disciplinado y responsable con las actividades, manifiesta interés por las temáticas tratadas en clase y constantemente se refiere a sucesos históricos para ejemplificar sus aportes al grupo. Le gusta aprovechar oportunidades para entablar conversaciones con la profesora sobre las aplicaciones y usos que le puede dar a lo que aprende en clase, como resultado de esta motivación con frecuencia se plantea preguntas sobre la manera como según él, se pueden abordar los temas. Su desempeño en la actividad dos de la fase de exploración fue alto.

3.3. Recolección de la información

Entonces, en esta línea de ideas, se orientaron las estrategias para la obtención de los datos con base a los objetivos de la investigación. Así, los mecanismos de recolección de datos están focalizadas de tres formas: observaciones, entrevistas semi-estructuradas y cuestionarios. Estas técnicas fueron estructuradas e implementadas como parte de las actividades de intervención derivadas y asociadas con las estrategias de enseñanza y aprendizaje propuestas en una unidad didáctica que se denomina “*Entre las leyes ponderales, la historia y la epistemología*”, la cual se expondrá en un apartado posterior.

3.3.1. La observación

La observación en esta investigación se toma como estrategia para explorar el contexto en que se desarrolla la vida en el aula y describir las actividades que desarrollan los participantes, así como los significados de sus discursos. Además de prestar atención a las vinculaciones entre personas y circunstancias (Hernández, Baptista y Fernández, 2006), este tipo de observación se enriquece con anotaciones sobre eventos que pueden ser relevantes a la hora del análisis de las información. En este caso, dado que la investigadora principal es al mismo

tiempo la maestra titular que implementa la unidad didáctica, la observación se hace mediante la filmación de dos sesiones de clase (contando con la ayuda de un camarógrafo). Son dos grabaciones, la primera de ellas corresponde a la actividad número dos de la fase de exploración de conocimientos previos de la unidad didáctica, en donde los estudiantes debatirán acerca de las soluciones o respuestas que dieron a situaciones cotidianas; la segunda observación, atañe la actividad número uno de la etapa de estructuración y síntesis, la cual consiste en la elaboración de mapas conceptuales y exposición a partir de la lectura de textos históricos y epistemológicos sobre el tema.

La observación en esta investigación se centra por un lado en, develar algunas manifestaciones y significados en torno a las leyes ponderales por parte de los estudiantes, y por el otro, en identificar y describir la relevancia que otorgan el alumno a los elementos históricos y epistemológicos en el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Con el fin de dar validez a los cuestionarios y de esta manera garantizar la triangulación de pares o expertos investigadores, se le envió a cuatro profesores licenciados en ciencias naturales y magister en didáctica de las ciencias que trabajan como profesores de cátedra en la Universidad de Antioquía e instituciones de educación básica y media, mediante correo electrónico una solicitud expresa en la que solicitamos comedidamente su colaboración para la revisión y evaluación de los cuestionarios que hemos diseñado y que hacen parte de la unidad didáctica, así como la entrevista final. Para esto, los pares debían cumplimentar un formato tipo tabla en que al frente de cada instrumento describían sus apreciaciones y las respectivas acciones de mejoramiento. En el anexo A2 se incluyen los formatos de valoración originales. Con las apreciaciones de ellos se procedió a la revisión y reconstrucción de cada cuestionario y el guion de la entrevista, previo a la aplicación definitiva de éstos durante la fase del trabajo de campo.

3.3.2. Los cuestionarios

Los cuestionarios constituyen una de las estrategias más utilizadas de recolección de información, consisten en una serie de preguntas respecto a uno a varios aspectos a estudiar; muchos cuestionarios incluyen preguntas abiertas o texto libre, generalmente en el contexto de la investigación cualitativa (Hernández, Baptista y Fernández, 2006).

Es así como, para los cuestionarios que se utilizan en este estudio, se optó por preguntas de ambos tipos, tanto abiertas y de texto libre, como cerradas de opción múltiple. El propósito de esta estrategia, se centra en poder comparar dentro de la unidad didáctica, si aquellas concepciones que los estudiantes creen tener, concuerdan con aquellas explicaciones que los estudiantes dan a esos mismos conceptos en tiempos diferentes. Siendo así, los cuestionarios se orientan de la siguiente forma:

- I. Cuestionarios de tipo KPSI, el primero se aplica en la actividad uno de la fase de exploración de conocimientos de la unidad didáctica. En él se indaga sobre los conocimientos previos de los estudiantes sobre las leyes ponderales al iniciar el proceso de intervención; el segundo cuestionario de este tipo se propone en la actividad dos de la fase de síntesis y estructuración, en él se indaga al estudiante sobre el grado de conocimiento alcanzado (anexo A4).
- II. Cuestionarios de preguntas abiertas a partir de situaciones cotidianas se presentan en dos momentos. El primero, designado “¿y el agua cuál es?” en la actividad dos de la fase de exploración de conocimientos, en el cual, los estudiantes utilizan sus ideas previas para dar respuestas o posibles soluciones a las situaciones planteadas; el segundo cuestionario denominado “el asunto de la estufa de gas”, administrado en la actividad dos de la fase de aplicación de saberes, a diferencia del primero, los educandos aprovecharán los nuevos conocimientos para formular soluciones a dichos problemas (anexo A5).

3.3.3. La entrevista

Otro método de información utilizado es la entrevista semi-estructurada (Stake, 2007; Taylor y Bogdan, 1987), construida a partir de la conjunción de preguntas semi-estructuradas que van surgiendo a medida que se establece el diálogo con el sujeto informante. Éstas son necesarias para profundizar y obtener una información más precisa sobre el objeto de estudio, generándose una mayor riqueza en los datos que se pretenden analizar; es decir, este tipo de entrevista permite al investigador ahondar o precisar aspectos que son relevantes para la investigación y que emergen durante el diálogo con los entrevistados (Ibíd.,1987).

La entrevista cualitativa como estrategia para recoger información se convierte en un intercambio de testimonios entre una persona (el entrevistador) y el otro (entrevistado). Está, a través de preguntas y respuestas permite al investigador identificar la construcción de significados del sujeto informante, en concordancia con el paradigma crítico (Hernández, Baptista y Fernández, 2006).

Las entrevistas con una duración aproximada de 10 a 15 minutos, se aplicaron a los seis sujetos informantes. Las preguntas de la entrevistas están orientadas a percibir las percepciones de los estudiantes acerca de la incidencia de los elementos históricos y epistemológicos sobre su aprendizaje (véase anexo A6).

3.4. La unidad didáctica:

En la unidad didáctica (ver gráfico No. 3) que se utiliza como pretexto de intervención para los participantes de la investigación, incluimos las perspectivas históricas, epistemológicas y de contexto para la enseñanza de las leyes ponderales. En consecuencia, la unidad didáctica no constituye un instrumento de recolección de información, sino, un medio que envuelve en su estructura los mecanismos para obtener la información de los estudiantes, a partir de las concepciones y saberes que emergen como producto de la aplicación de las actividades de enseñanza y aprendizaje. La unidad didáctica organizada en torno a un ciclo de aprendizaje se fundamenta en los principios constructivistas, la

metacognición y autorregulación del aprendizaje y la evaluación formativa (Jorba y Sanmartí, 1994; Lawson, 1994) en tal caso, la unidad didáctica consta de cuatro fases, como se aprecia en líneas posteriores.



Grafico No. 2: Fases de la unidad didáctica.

- La fase exploratoria: incluye la descripción y análisis de situaciones experimentales por parte de los estudiantes a partir de sus saberes previos, además, los estudiantes analizan y plantean soluciones a situaciones problemáticas relacionadas con las leyes ponderales. En esta fase el objetivo es generar incertidumbre en los estudiantes.
- La fase de introducción de nuevos conocimientos: incorpora consultas de indagación sobre situaciones cotidianas en las que los fenómenos se podrían explicar a partir de las leyes ponderales, y lecturas de textos históricos y epistemológicos que narran las construcciones conceptuales de dichas leyes. Todo esto para favorecer la relación entre los conocimientos nuevos y los que el estudiante ya tenía.
- La tercera fase de estructuración y síntesis: implica el uso adecuado de los conocimientos nuevos por parte de los estudiantes. Para cumplir con este propósito, se propone la construcción de mapas conceptuales y su exposición, luego de que los estudiantes realizan una lectura crítica de textos originales escritos por historiadores y epistemólogos de la química.
- La fase aplicación de conceptos pretende evaluar desde una perspectiva formativa el aprendizaje de los estudiantes a cerca de las leyes ponderales, así como también, los modelos que estos han construido en torno a dichos tópicos de la química al finalizar la intervención. Siendo así, recurrimos a la aplicación de cuestionarios para identificar los conocimientos que el estudiante considera haber alcanzado y cuestionarios con situaciones en donde el estudiante debe hacer uso de los saberes adquiridos para darles respuesta o posibles soluciones. (ver anexo de unidad didáctica A3).

3.5. Sistematización y análisis de datos

Para el análisis de la información que se obtuvo durante el trabajo de campo, procedimos en primer lugar a transcribir literalmente la información obtenida de los cuestionarios, observaciones y entrevistas realizadas a los sujetos informantes;

para tal fin utilizamos el formato de tabla (ver tabla No. 1) propuesta por Martínez (1998), que consta de dos columnas: la primera donde se efectúa la categorización, la re-categorización y las anotaciones especiales, y en la segunda se transcriben los discursos de los estudiantes.

Para el análisis de la información recogida, se tuvieron en cuenta los supuestos de Bardin (2002), su propuesta denominada análisis de contenido, la cual se fundamenta en el hecho de que todo acto de comunicación que se quiere comprender, va más allá de los primeros significados que le atribuimos a dicha comunicación. Es a partir de esta premisa que el análisis de contenido de una comunicación tiene para este autor dos funciones: a) una función heurística para ver o descubrir; b) y una función administrativa de la palabra en el sentido de confirmar o invalidar mediante un análisis sistemático.

Entrevista		Hoja Código sujeto
Otra información relevante		
Categorización primaria y re-categorización	Línea número	Transcripción literal del discurso de los informantes

Tabla No. 1: Formato para transcripción propuesta por Martínez (1998).

De esta manera, el análisis de contenido como técnica es un método muy empírico en el que no existen plantillas o formatos para la selección de patrones, puesto que al ser su campo de acción el acto comunicativo su desarrollo dependerá del tipo de interpretación que se persiga y el tipo de discurso que se maneje. El análisis de contenido está orientado en encontrar unidades de codificación o de registro y en ellas se le asigna especial atención a las unidades de contexto, pues estos colocan en contexto cada uno de los ítems que se encuentra durante el análisis (Ibíd., 2002).

Entonces, con el apoyo de la técnica de análisis de contenido se procedió a identificar algunas categorías dentro de los datos recogidos como productos de actos de la comunicación, para la identificación de estas se tuvieron en cuenta cuatro fuentes:

- Las preguntas de investigación.
- Las contribuciones del marco teórico de referencia usado en este estudio.
- Las cuestiones y teorías que estructuran los diferentes instrumentos de recolección de información.
- Los elementos emergentes durante el proceso de aprendizaje de los estudiantes, puestos de manifiesto a través de las diferentes actividades realizadas en el desarrollo de la unidad didáctica.

Una vez se triangulan y comparan las fuentes, se verifica la coherencia y el poder explicativo de las categorías extraídas a la luz de los propósitos de la investigación, y se construye el sistema de categorías final, este queda conformado por un ámbito general que agrupa cinco categorías formuladas a partir de la caracterización de los modelos, la historia y epistemología de las leyes ponderales y los factores que inciden en el proceso de modelización. Las categorías que se resumen en la tabla número 2 fueron construidas con base en los aportes de: Adúriz-Bravo (2012), Gilbert (2004), Giere (2004, 2001), Moreira, Greca y Rodríguez (2002), Greca y Moreira (1998), Vosniadou y Brewer (1992) y Johnson-Laird (1983).

Sistema de categorías		
Ámbito	Categorías	Subcategorías
Modelos mentales de los estudiantes sobre las leyes ponderales	I. Conceptos básicos	IA. Significados de los conceptos teorías y leyes de la ciencia. IB. Relaciones jerárquicas. IC. Coherencia del modelo del estudiante con la realidad. ID. Aplicación del modelo.
	II. Tipo de expresión del modelo mental	IIA. Modelo verbal IIB. Modelos simbólicos IIC. Modelo visual
	III. Nivel del modelo	IIIA. Nivel analógico (macroscópico o sub microscópico) IIIB. Nivel proposicional predictivo
	IV. Comprensión histórica-epistemológica del modelo	IVA. Contexto histórico IVB. Necesidades y aplicaciones

		IVC. Progreso de los modelos
	V. Factores que inciden en la modelización	VA. Impacto de la historia y epistemología VB. Obstáculos en el proceso de modelización

Tabla No. 2: Sistema de categorías

Cada categoría en términos generales se puede definir de la siguiente manera: para identificarla se usará un código que se compone primero de un número romano (I, II, III, IV...) que indica el tipo de categoría propiamente dicha y, el segundo componente del código es una letra mayúscula que determina la subcategoría (A, B...). Las categorías y subcategorías quedaran definidas así:

- Categoría I (conceptos básicos):** así como los modelos científicos presentan una serie de características que los estructuran, los modelos que son elaborados por los estudiantes como producto de su aprendizaje, también contienen en sí mismos una serie de elementos que permiten caracterizarlos. El propósito entonces de esta categoría es, identificar aquellos elementos que definen los modelos de los estudiantes. Para ello se toma como referente las siguientes subcategorías: **significados de los conceptos, teorías y leyes (IA)**, incluye los conceptos y definiciones expresadas por los estudiantes; **relación jerárquica (IB)**, describe la organización de los conceptos en términos graduales, diferenciados y subordinados; **coherencia del modelo del estudiante con la realidad (IC)**, analiza las semejanzas y relaciones de los modelos elaborados por los estudiantes con la realidad; y **aplicación del modelo (ID)**, en esta categoría se examina como los estudiantes le dan un uso o aplicación al modelo que construyen.
- Categoría II (tipo de expresión del modelo mental):** cuando los científicos elaboran sus modelos para abordar la realidad y luego se disponen a explicarlo o comunicarlos, expresan este modelo en distintas representaciones, de igual manera, los estudiantes al exteriorizar sus modelos lo hacen en diferentes maneras. La identificación de estas

maneras de representación se basa en las siguientes subcategorías: **(IIA) modelos verbal**, consiste una descripción de las entidades y las interrelación entre ellas (puede ser oral o escrito); **(IIB) modelos simbólicos**, se basa en el uso de fórmulas, ecuaciones y expresiones matemáticas; **(IIC) modelo visual**, se apoya en elementos gráficos como tablas esquemas y animaciones en dos dimensiones.

- **Categoría III (niveles del modelo):** los modelos de los estudiantes se pueden clasificar teniendo en cuenta el alcance o nivel de desarrollo del modelo. Así, para esta categoría se analizaron y clasificaron los modelos de los estudiantes a partir de dos subcategorías, estas son: **(IIIA) nivel analógico**, en este nivel se alcanza una capacidad descriptiva o principalmente cualitativa del modelo, este nivel además se puede analizar desde dos ángulos, uno macroscópico (referido a las características organolépticas o perceptibles por los sentidos y una sub microscópica referida a las propiedades o características relacionadas con los átomos y las moléculas); **(IIIB) nivel proposicional**, en este nivel se alcanza a realizar predicciones a partir del modelo elaborado.
- **Categoría IV (comprensión histórica y epistemológica del modelo):** este estudio se desarrolló con un enfoque de enseñanza histórico-epistemológico de las leyes ponderales, en esta categoría convergen los elementos que inciden en la construcción de los modelos por parte de los estudiantes. Para tal propósito, las subcategorías que nos permite identificar tal ocurrencia, están estructuradas de la siguiente manera: **contexto histórico (IVA)**, describe como los estudiantes reconocen los elementos del contexto de la ciencia que permitieron el estudio y comprensión de los sistemas naturales, para posteriormente decantarse en leyes, teorías o conceptos que explican la realidad, lo cual se evidencia en los modelos mentales de los estudiantes; **(IVB) necesidades y aplicaciones**, puntualiza en los propósitos o usos para los cuales los modelos fueron construidos y los relaciona o compara con los propósitos y

aplicaciones que los estudiantes le dan a sus propios modelos; **(IVC) progreso de los modelos**, el estudiante reconoce los cambios y la evolución de los modelos, al igual que las necesidades y razones que condujeron a tales propósitos.

- **Categoría V (factores que inciden en la modelización):** al estar este estudio orientado hacia el campo de la educación en ciencias, uno de sus objetivos es identificar las contribuciones del enfoque histórico y epistemológico en el aprendizaje de los estudiantes. Para esta investigación, el aprendizaje de los estudiantes se relacionara con la capacidad de estos para construir modelos de los conceptos que han abstraído, entonces, para identificar esta incidencia esta categoría propone dos subcategorías: **impacto de la historia y epistemología (VA) y obstáculos en el proceso de modelización (VB)**, las cuales serán reconocidas en el discurso de los estudiantes.

Con lo expuesto, el diseño metodológico planteado permite abordar el problema de investigación y recoger información mediante las diferentes estrategias, para luego ser interpretadas siguiendo las pautas de la técnica de análisis de contenido que se abordará en el próximo capítulo.

4. RESULTADOS Y ANALISIS

Introducción

En este capítulo se presentan los resultados encontrados en el discurso oral y escrito de los estudiantes, de igual manera, el análisis de la información recolectada y sistematizada se realiza de acuerdo con los parámetros explícitos en el capítulo anterior.

Para el desarrollo del análisis, se obtuvieron fragmentos de textos o unidades de significado que permiten develar del discurso de los estudiantes sus modelos mentales. Existen muchas tipologías de unidades de análisis o de registro propuestas por diversos autores, en esta investigación se opta por la propuesta de Bardin (2002), para el autor las unidades de registro se definen como:

“... las unidades de significación que se han de codificar. Corresponden al segmento de contenido que será necesario considerar como unidad de base con miras a la categorización y al recuento frecuencial...” (Bardin, 2002, p. 79)

Con esta definición y teniendo en cuenta que el orden del análisis de contenido es siempre semántico, esto se refiere, al orden de significado, sentido y significación de los signos lingüísticos como símbolos, palabras, expresiones o representaciones formales (Bardin, 2002), en el estudio se examinaron las siguientes unidades de registro:

- **La palabra:** aunque no hay muchas precisiones sobre el concepto o significado de la palabra semántica, el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española (2010) permite tener un parámetro de referencia sobre este término, para la RAE *“una palabra es un segmento del discurso unificado habitualmente por el acento, el significado y pausas potenciales iniciales y finales”*, en el análisis de contenido se pueden tener en cuenta todas las palabras del texto o retener palabras claves o palabras del tema a analizar.

- **El tema:** es la unidad de significación que se desprende naturalmente de un texto analizado según ciertos criterios de lectura, así, hacer un análisis temático consiste en analizar los núcleos de sentido que componen la comunicación y cuya frecuencia de aparición podría significar algo (Bardin, 2002).

Las unidades de análisis serán identificadas por códigos, estos códigos se constituyen de la siguiente manera: a) un número arábico que indica el orden consecutivo de aparición de la unidad de análisis; b) un número romano acompañado de una letra mayúscula que indica la categoría a la que corresponde la unidad, el número romano indica la categoría y la letra mayúscula la subcategoría, separado por un guion de los otros componentes del código; c) dos letras mayúsculas que se refieren al código del estudiante; y d) una letra separada por un guion que indica si la actividad se desarrolló al inicio o al final de la unidad didáctica. Por ejemplo, veamos una unidad de análisis obtenida de las transcripciones del discurso de los estudiantes, en este fragmento el estudiante responde a un planteamiento que se le hace en la fase de exploración de la unidad didáctica, relacionado con cómo se podría identificar el agua oxigenada contenida en un recipiente transparente que no posee etiqueta.

“Para ayudar al joven a encontrar el frasco correcto, este debe identificar algunas características del agua oxigenada. Podría utilizar algunos de sus sentidos, quizás el olfato. Así, podría saber cuál de ellos es.”

1111A-SM-I

Teniendo presente que, el propósito de este análisis es identificar y caracterizar las ideas de los estudiantes sobre las leyes ponderales de la química a la luz de las diferentes categorías, mediante un análisis de contenido, este lo hemos desplegado, atendiendo a los pasos que se explican en el siguiente apartado.

4.1. Procedimientos para el análisis

El análisis que hemos efectuado es el producto de una serie de actividades tendientes a una mejor organización, sistematización e interpretación de la información recopilada en el estudio, los pasos seguidos son:

- **Categorización primaria:** interpretación e identificación de patrones en las preposiciones o respuestas de los informantes en los diferentes instrumentos.
- **Categorización secundaria:** comparación de las inferencias de la etapa anterior a la luz de las cinco categorías definidas. Esta tarea es realizada de manera independiente por la investigadora principal y los asesores de la tesis, para cotejar los productos individuales y llegar a un consenso acerca de las categorías que mejor definen y describen las diferentes unidades de información y registro.
- **La agrupación de las unidades de información por categoría y para los seis estudiantes:** agrupación de las unidades de análisis por categoría y análisis descriptivo de cada uno, atendiendo a las preguntas de investigación (los resultados se presentaran según este criterio).

4.2. Análisis por categoría

El desarrollo de esta sección obedece al análisis por categoría, en este se describe brevemente el significado de cada una de las categorías al igual que sus componentes apoyados en gráficos en los que se resumen las categorías por estudiantes al inicio y al final de la intervención. Por último, establecimos un diálogo en el que comparamos los modelos mentales de los estudiantes con los modelos conceptuales de la ciencia.

En este apartado, se utiliza la tabla No. 3 propuesta por Furio y Domínguez (2007) como herramienta para contrastar los modelos mentales elaborados por los estudiantes con los modelos conceptuales de la ciencia.

Modelos mentales de los estudiantes	Modelos conceptuales	Análisis comparativo

Tabla No. 3: Tabla para el análisis de los modelos mentales v/s los modelos conceptuales de los estudiantes.

Por otra parte, para una visión más completa de las unidades de análisis, se realiza una agrupación de cada una de estas, por categorías en la tabla No. 4, en esta tabla se identifica que la categoría (V) “factores que inciden en la modelización”, presenta mayor número de unidades identificadas, con un total de 27 fragmentos.

Categoría I	Categoría II	Categoría III	Categoría IV	Categoría V
21D-SM-I			7IVB-SM-I	12VB-SM-I
6IA-SM-I			8IVB-SM-I	19VA-SM-F
10IC-SM-I			11IVC-SM-I	27VB-OV-I
13IA-SM-I			17IVC-SM-F	28VB-OV-I
15ID-SM-F	3IIB-SM-I		18IVC-SM-F	30VB-OV-F
16ID-SM-F	22IIB-OV-I	1IIIA-SM-I	24IVC-OV-I	35VA-OV-F
20ID-SM-F	29IIA-OV-F	4IIIA-SM-I	25IVB-OV-I	36VA-OV-F
26IC-OV-I	37IIB-AA-I	5IIIA-SM-I	32IVA-OV-F	50VA-AA-F
31IC-OV-F	45IIC-AA-I	9IIIA-SM-I	33IVA-OV-F	51VA-AA-F
44IA-AA-I	55IIB-DG-I	14IIIA-SM-F	34IVB-OV-F	52VA-AA-F
46IC-AA-F	59IIC-DG-I	21IIIA-OV-I	40IVB-AA-I	53VA-AA-F
48IB-AA-F	71IIB-JR-I	23IIIA-OV-I	41IVB-AA-I	66VA-DG-F
58IC-DG-I	76IIB-JR-I	38IIIA-AA-I	49IVC-AA-F	67VA-DG-F
60IC-DG-I	77IIC-JR-I	39IIIA-AA-I	57IVB-DG-I	68VA-DG-F
61IA-DG-F	83IIB-JR-F	43IIIA-AA-I	62IVB-DG-F	69VA-DG-F
63IA-DG-F	93IIC-HA-I	47IIIA-AA-F	65IVC-DG-F	79VA-JR-I
64IA-DG-F	95IIA-HA-F	54IIIA-DG-I	72IVB-JR-I	80VA-JR-I
73IA-JR-I	96IIB-HA-F	56IIIA-DG-I	78IVC-JR-I	86VA-JR-F
74IA-JR-I	98IIB-HA-I	70IIIA-JR-I	84IVC-JR-F	87VA-JR-F
75IC-JR-I	99IIC-HA-I	92IIIA-HA-I	85IVA-JR-F	88VA-JR-F
81IA-JR-F	Total = 16 unidades	Total = 15 unidades	89IVC-JR-F	90VB-JR-F
82IA-JR-F			97IVB-HA-I	102VB-HA-F

91ID-JR-F 94IC-HA-I 101IA-HA-F <hr/> Total = 25 unidades			100IVA-HA-I 103IVA-HA-F <hr/> Total = 24 unidades	104VA-HA-F 105VA-HA-F 106VA-HA-F 107VA-HA-F 108VA-HA-F <hr/> Total = 27 unidades
--	--	--	--	---

Tabla No 4: Tabla de las unidades de análisis agrupadas por categoría.

Seguidamente, las frecuencias de las otras unidades de análisis encontradas son respectivamente: categoría (I) conceptos básicos con un total de 25 fragmentos, categoría (IV) comprensión histórica y epistemológica del modelo con 24 unidades de análisis, (II) tipo de expresión del modelo con 16 unidades de significado, y (III) nivel de modelo con 15 unidades en total. El total de fragmentos identificados en la investigación es de 108.

4.2.1. Análisis categoría uno “conceptos básicos”: en esta categoría se incluyen los significados y nociones que sobre las leyes ponderales construyeron los estudiantes durante el proceso de intervención, esta se puede delimitar en términos de cuatro subcategorías: (IA) significados de conceptos y teorías, incluye las definiciones expresadas por los estudiantes; (IB) relación jerárquica, hace alusión a la gradualidad de los conceptos; (IC) coherencia del modelo del estudiante con la realidad, en el que los conceptos elaborados por los estudiantes intentan develar una correspondencia con la realidad; (ID) y aplicación del modelo, se refiere a los usos que los estudiantes le dan a los conceptos implícitos en sus modelos.

En este apartado se construye un gráfico (ver gráfico No. 3) en el que se presentan de forma resumida la categoría para cada uno de los estudiantes, de dicho grafico se puede inferir que en las etapas iniciales los estudiantes coinciden en el uso del lenguaje cotidiano para expresar sus concepciones sobre las leyes ponderales que generalmente están relacionadas con experiencias habituales. Por otra parte, en las fases finales los estudiantes en su mayoría coinciden en

relacionar los conceptos que han elaborado en sus modelos mentales con los usos y las aplicaciones que dichos significados pueden tener, incorporando el lenguaje científico.

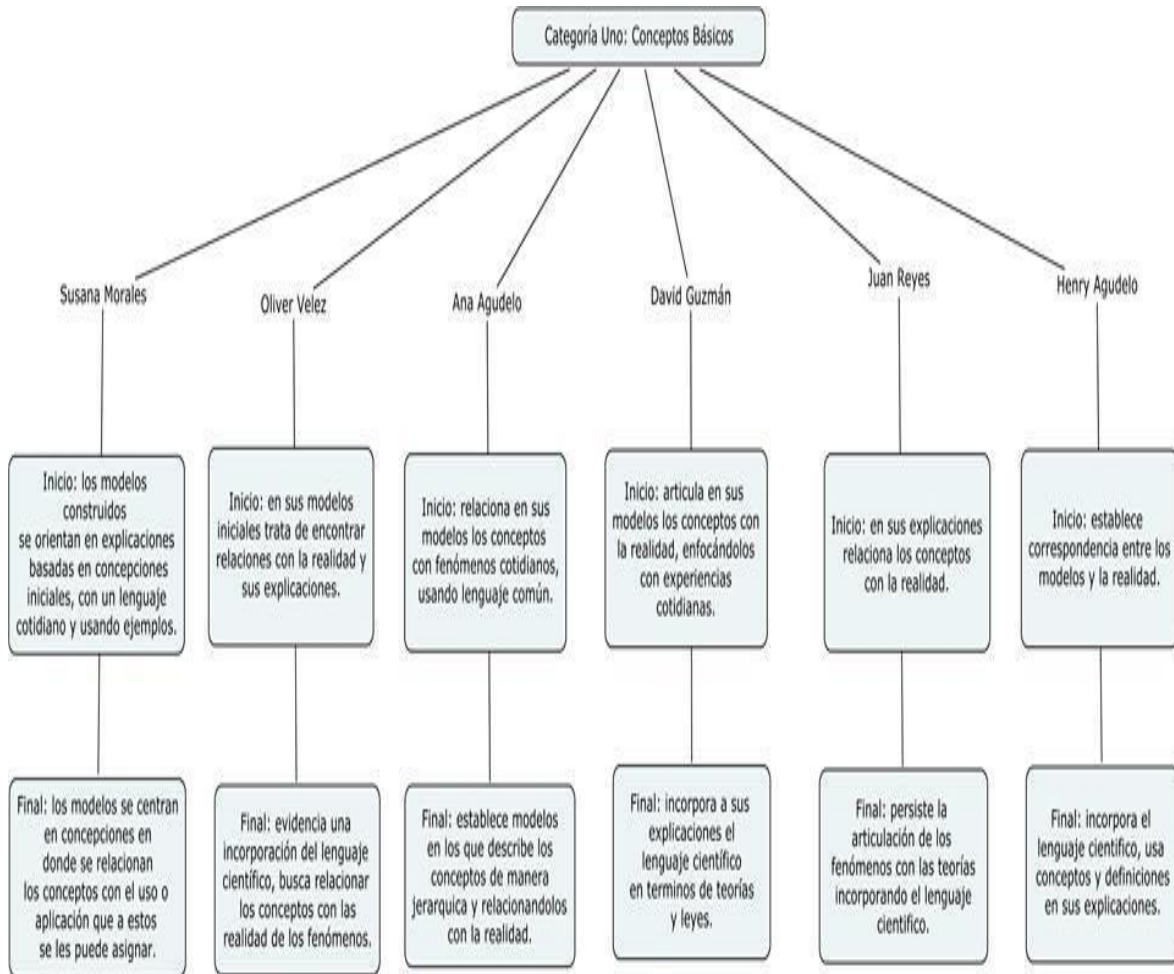


Grafico No. 3: Análisis categoría conceptos básicos.

Subcategoría significado de conceptos, teorías y leyes científicas (IA): Con relación a la subcategoría significado de conceptos, teorías y leyes, se encuentra que cuando se les formula a los estudiantes la siguiente pregunta en las fases iniciales de la instrucción “de acuerdo con la lectura, ¿qué has podido comprender sobre las leyes ponderales?” (Véase el anexo A3, unidad didáctica), uno de ellos responde de la siguiente manera:

“todos los compuestos contenían en ciertas proporciones definidas y no en otras combinaciones, independientemente de las condiciones bajo las condiciones que se hubiese formado esto se llama ley de las proporciones definidas”

73IA-JR-I

En este primer fragmento, el estudiante “JR” trata de explicar de qué manera la composición de los compuestos químicos está determinada por unas proporciones, esto que lleva a interpretar que ha tenido en cuenta una cierta noción de cantidad en la constitución de los compuestos, sin embargo, no explicita en su discurso a que se refiere cuando usa la frase “*proporciones definidas*”, de este modo, no permite dilucidar qué tipo de modelo mental ha construido con relación a sus concepciones sobre la composición de los compuestos.

Algo semejante ocurre en la unidad de análisis (13IA-SM-I), en donde la estudiante “SM” responde al mismo planteamiento que en la unidad anterior, aquí, lo que quizás trata de exteriorizar la estudiante en su modelo mental es que las cantidades presentes en las sustancias están regidas por un principio, esta noción se relaciona con las proporciones de las masas presentes en las sustancias.

“6) También llamadas leyes de las combinaciones químicas; tratan de las cantidades de las sustancias que intervienen en relaciones, en otras palabras rigen las proporciones de la masa y el volumen para formar compuestos y para determinarlos. Se utiliza en cálculos estequiométricos y son leyes ponderales.”

13IA-SM-I

En estas unidades de análisis se podría interpretar que los estudiantes en su discurso intentan construir una definición para el significado de las leyes ponderales. Cuando utiliza la palabra “proporciones”, posiblemente están manifestando una generalidad en la concepción que han elaborado sobre proporciones definidas. De otro lado, parecen expresar que los compuestos siempre se presentan en cantidades iguales en su composición, pero, no pone en manifiesto si se refiere a la cantidad del compuesto o las cantidades de elementos presentes en el compuesto; rescatemos ahora, que en los discursos de estas unidades se hace referencia a las cantidades “proporciones”, lo que podría permitir

interpretar que los estudiantes han modelizado una pensamiento cuantitativo en relación a los compuestos.

Se debe observar ahora, que ambos estudiantes se refieren de manera puntual al término “ley de las proporciones definidas” al final del discurso, este término remite el contenido de este texto a la subcategoría IA, y aquí se puede destacar que parecen tener una concepción de que las sustancias son el producto de un proceso o reacción química.

En esta otra unidad de análisis para la subcategoría conceptos básicos en la fase inicial, en donde un estudiante responde al siguiente planteamiento ¿explica con tus propias palabras que preguntas o cuestiones según el texto lo condujeron a la formulación de las leyes ponderales? (véase anexo A6) la respuesta fue:

“la medición de los cambios químicos; ya que se requería de una medición exacta en un sistema de reacción cerrado en el cual no hay ganancia ni pérdida de peso, en los procesos de medición y cuantificación”

6IA-DG-I

En esta unidad de análisis el sujeto informante posiblemente se refiere a los conceptos relacionados con la ley de la conservación de la masa, en su constructo declara “la medición en los cambios químicos”, este último término podría permitiros interpretar que en el modelo construido por los estudiantes, los procesos de medición tienen cierta relevancia para comprender mejor los fenómenos químicos. A esto se añade, que en el discurso de este fragmento los estudiantes utilizan de manera explícita los términos medición y cuantificación, lo que significaría que, en sus concepciones se tienen en cuenta estas definiciones para explicar fenómenos químicos.

Al comparar en este punto la interpretación de estas tres unidades de análisis, lo que se puede encontrar en común en ellas es la posible relevancia que los estudiantes asignan a los procesos de cuantificación en los cambios químicos, el concepto en el modelo construido aquí por el estudiante podría tratar de incorporar

las mediciones para una mejor explicación de los fenómenos o en comparación con sus concepciones iniciales.

Para las actividades correspondientes a las etapas finales de la intervención (fase de estructuración y síntesis; y fase de aplicación) se presenta y analiza la siguiente unidad de significado:

“1) de una misma reacción se pueden obtener diferentes productos, todo dependiendo de la cantidad de reactantes que hallan presentes en la reacción. Además de las condiciones presentes durante el proceso de reacción.”

81IA-JR-F

En esta unidad de análisis al estudiante se le ha formulado la siguiente pregunta después del análisis de la situación denominada “el asunto de la estufa de gas” (ver anexo A6) ¿Cómo debe dar explicación el empleado de la empresa de gas a Camilo sobre sus preguntas?, ayúdalo utilizando tus conocimientos sobre leyes ponderales. De este modo, la explicación en esta unidad de análisis posiblemente evidencia una concepción de las leyes ponderales implícitamente en su discurso, lo que posiblemente él quiere manifestar es que de una reacción química se pueden obtener ciertos productos, aquí, podría interpretarse que no hay una concepción clara del significado del término, pues se da la posibilidad de que este usando la expresión como producto de una reacción o también como una sustancia química.

Se observa, que en el lenguaje que el estudiante utilizado en esta unidad de significado se empieza a incorporar vocablos como reactantes, podría deberse a que el estudiante ha comenzado a incorporar a sus concepciones iniciales los conceptos y teorías nuevas.

Finalmente, en el discurso observado en este fragmento el estudiante pone en manifiesto la palabra “cantidades”, siendo este posiblemente un indicio de la relevancia que asignan a las cantidades en su modelo construido sobre las leyes ponderales para explicar fenómenos químicos.

En otra unidad de significado para esta misma subcategoría en las etapas finales de intervención encontramos que:

“la ley de la conservación de la masa que es la de Lavoisier, que es la que nos dice que en las reacciones químicas es muy importante la cantidad por el peso de los reactivos, entonces nos dice que siempre va a ser la misma cantidad cuando va a comenzar el proceso de reacción y cuando vaya a terminar”

64IA-DG-F

Lo que eventualmente se puede interpretar es que el estudiante manifiesta la importancia de las cantidades en los procesos de reacción, además, el estudiante posiblemente a interpretado que en los procesos de reacción química se presentan unas etapas que comprenden un inicio y un final, lo que no está explícito aquí, es como ese “peso” al que él se refiere puede ser determinado al inicio y al final del cambio químico.

Parece ser que, en esta unidad de análisis el sujeto informante ha sido capaz de asignar un concepto o significado a la ley de la conservación de la masa, y que además, adjudica este cuerpo teórico aun sujeto a un personaje en particular, en este caso “Lavoisier”.

Al establecer una comparación entre los modelos mentales de los estudiantes en las fases iniciales y finales, se encuentra que en la fase inicial los estudiantes no evidencian claridad sobre la conceptos relacionados a las cantidades en la composición de los compuestos, este fenómeno fue también identificado en otro estudio en que se concluyó que los estudiantes no entienden el concepto sub microscópico de sustancia en particular a las proporciones definidas (Furio y Domínguez, 2007). En otra instancia, el análisis de las fases finales muestra que los estudiantes han incorporado el concepto de peso o masa en sus nociones pero que estas no hacen referencia al origen de dicho peso, es decir, los pesos de las sustancias corresponden a la suma de los pesos de los átomos de los elementos químicos que lo conforman. En esta interpretación inferimos que los estudiantes

continúan mostrando las mismas dificultades de comprensión de las propiedades sub microscópicas de los compuestos al inicio y al final de la intervención.

Es significativo ver que, tanto en las etapas iniciales como en las finales, las interpretaciones para la subcategoría significado de conceptos, teorías y leyes de la ciencia, ponen en manifiesto que posiblemente los estudiantes señalan nociones de cantidades en sus concepciones sobre leyes ponderales; la diferencia de dicha concepción en los diferentes momentos del proceso de instrucción, se centran en el hecho que en la fase inicial, estas concepciones están orientadas a explicaciones fundamentadas en experiencias cotidianas; y en los etapas finales, los estudiantes han formulado explicaciones más elaboradas, fundamentadas en los modelos conceptuales de la ciencia y con un cierto grado de inclusión del lenguaje científico. Agreguemos que, de manera implícita o explícita expresan un significado a las reacciones químicas, como proceso en el que se forman nuevas sustancias.

Subcategoría relaciones jerárquicas (IB), no se pudo identificar en los discursos de los estudiantes correspondientes a las actividades iniciales dicha subcategoría, esto se puede interpretar desde el hecho que no se formularon preguntas orientadas a la respectiva subcategoría.

En la etapa final se encontró solo una unidad de análisis en las que los discursos de los estudiantes podrían manifestar un nivel de jerarquización de los conceptos básicos construidos sobre las leyes ponderales. Se analiza el siguiente fragmento en el que se responde al siguiente planteamiento dentro del contexto de una situación en la que se describe el fenómeno de combustión completa e incompleta en las estufas de gas en el hogar (ver anexo A6) ¿Cómo debe dar explicación el empleado de la empresa de gas a Camilo sobre sus preguntas? :

“Informándole acerca de lo anterior, explicar por medio de un ejemplo de vista como lo que está pasando en su casa y explicar por qué sucede esto que sería la combustión del gas con el aire en presencia de calor.”

En esta unidad de análisis posiblemente se describe un modelo para abordar la situación de la combustión completa e incompleta, aquí se podría interpretar que se establece una estructura explicativa para la situación dada, en el que se parte primero de un ejemplo; lo que el discurso del participante podría estar manifestando implícitamente es que cuando se construye un modelo para un fenómeno determinado, este debe servir también para explicar otras situaciones, con patrones parecidos al del fenómeno que se esté analizando. Ahora, al parecer dentro de este fragmento se trata de encontrar correspondencias entre el fenómeno y una teoría.

De todo esto, una de las posibles interpretaciones es el hecho de que cuando el estudiante va elaborar un modelo para explicar un fenómeno del mundo real ese fenómeno debe tener ciertas relaciones de semejanzas con otros y con alguna teoría para que este pueda permitir alcanzar un nivel de comprensión de dicha situación.

Subcategoría coherencia del modelo del estudiante con la realidad (IC): En la coherencia del modelo del estudiante con la realidad analizaremos los siguientes fragmentos:

“2) porque son obtenidas de diferentes forma y manera, unas sustancias muy diferentes es Metanol es obtenido de la madera, tiene muy bajo costo y de uso industrial el cual es también utilizado para adulterar el alcohol, el etanol es obtenido de la fermentación del azúcar también usado para el alcohol no adulterado y no causa daños tan graves como el Metanol.”

26IC-OV-I

“-¿Cómo las leyes ponderales explican este fenómeno? en el alcohol no adulterado las leyes ponderales actúan como proporciones definidas y esto se da debido a que está formado por las mismas proporciones. En el alcohol adulterado actúan las proporciones múltiples ya que hay gran variedad de combinaciones de este compuesto.”

10IC-SM-I

“Dos elementos pueden combinarse en más de una proporción lo que conduce a una gran variedad de combinaciones en compuestos diferentes.”

75IC-JR-I

En estas unidades de análisis se responde a los planteamientos que se formulan en la actividad denominada “de las leyes ponderales y su historia” (ver anexo A3), este proponía lo siguiente: el licor adulterado en su composición contiene Metanol o alcohol de madera (CH_3OH), el licor no adulterado contiene Etanol o Alcohol Eílico ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). Teniendo en cuenta tu comprensión de la información del texto ¿por qué estas dos sustancias presentan propiedades diferentes? ¿Cómo las leyes ponderales explican este fenómeno? Argumenta tu respuesta en cada caso.

En estos fragmentos los estudiantes elaboran una comparación entre lo que para ellos es licor adulterado y licor no adulterado, esto al aparecer para encontrar una relación de correspondencia entre los efectos, usos de cada sustancia, su composición y la manera como estas se obtienen. Cuando el informante expresa “las sustancias se obtienen de forma muy diferente” en la unidad (26IC-OV-I) posiblemente se están refiriendo al proceso de reacción química que se lleva a cabo para la producción de estas sustancias. De otro lado, el estudiante parece inferir que en la producción de licor adulterado hay un beneficio económico para quien los produce, dado que el Metanol que se usa para adulterar estas bebidas tiene un menor costo de producción. En esta dirección se podría suponer que el discurso de los participantes indica una coherencia de los conceptos con la realidad.

Un elemento que es común en todos los fragmentos que aquí se analizaron es que de una u otra manera los estudiantes reconocen que existen semejanzas en las sustancias, y que son esas semejanzas son las que permiten que en el licor, el etanol sea remplazado por el Metanol en el proceso de adulteración, pero, la relación entre las características de las sustancias y las explicaciones que estos asignan a dichas semejanzas no son claras ni consistentes, por ejemplo como se expresa en el segmento “*en el alcohol no adulterado las leyes ponderales actúan*

como proporciones definidas y esto se da debido a que está formado por las mismas proporciones” de la unidad “10IC-SM-I” o en la unidad “75IC-JR-I” en la que no se explicita la relación del concepto con un fenómeno particular.

Para el estado final, se analizarán las siguientes unidades de significado en las que las disertaciones de los estudiantes obedecen a las explicaciones que estos asignan a los procesos de combustión completa e incompleta dentro de la actividad denominada “el asunto de la estufa de gas” (ver anexo A6):

¿Esto por qué? Pues ya sabrás, cuando no hay un lugar apropiado donde escasea el Oxígeno, el combustible se concentra y no se dispersa y sale como debe ser. Tal vez sea muy duro saber cuándo diferenciarlas, pero un solo cambio en el color de la llama del fogón, que normalmente se torna azul, cambia a amarilla

31IC-OV-F

“Son de la misma reacción con el gas el aire en contacto con calor produciendo la llama, solo que utilizan diferentes proporciones, esto se evidencia en la llama que producen (según el color de la llama).”

46IC-AA-F

Aquí los sujetos participantes, en sus discursos podrían tratar de relacionar los conceptos adquiridos sobre las leyes ponderales con el proceso de combustión, esto para encontrar cierta correspondencia de dichos conceptos con la realidad de los fenómenos que se analizan, cuando en el unidad (31IC-OV-F) el participante expresa “Pues ya sabrás, cuando no hay un lugar apropiado donde escasea el Oxígeno” al parecer trata de referirse a las variaciones de las cantidades de Oxígeno en el proceso de combustión del combustible de la estufa, de manera implícita en sus manifestaciones los estudiantes se refieren a las leyes ponderales en su explicación. Algo parecido a lo que la estudiante “AA” manifiesta en la categoría (46IC-AA-F) cuando se refiere a las causas en el color de la llama, lo relaciona con las proporciones de aire en la combustión.

Así pues, cuando habla del color de la llama en ambas unidades de análisis posiblemente están estableciendo una relación entre el modelo mental que han construido y la realidad del fenómeno.

Del análisis comparativo de los modelos mentales de los estudiantes para esta subcategoría en las fases iniciales y finales, se encuentra que, en las primeras etapas la coherencia de los modelos mentales de los estudiantes con la realidad no son muy claros y explícitos, pues aunque citan las palabras o los términos leyes ponderales de manera conjunta con el fenómeno que analizan, estas explicaciones no son coherentes con la manera como el fenómeno se manifiesta, por el contrario, en las etapas finales las explicaciones de los estudiantes expresan mayor consistencia y coherencias entre los fenómenos y los conceptos sobre leyes ponderales.

La subcategoría aplicación del modelo (ID): es el último componente de la categoría conceptos básicos, en la etapa inicial de la intervención encontramos solo una unidad para analizar, esta dice:

“En esta situación su compañero se ha raspado, por la cual si se aplica el agua oxigenada por la infección en la pierna, el agua oxigenada produciría ciertos efectos.”

2ID-SM-I

En esta unidad de análisis posiblemente el estudiante participante cuando se le proponen unas preguntas sobre la situación “¿y el agua cuál es?” (Ver anexo A5), la pregunta que se les formula se refiere a que el estudiante debe identificar que recipiente contienen agua oxigenada, de dos recipientes que no tienen etiquetas y presentan la misma apariencia, entonces, en su discurso tratan de describir como sus concepciones iniciales sobre las sustancias se ponen en práctica para identificar la función o efecto que tendrá dicha sustancia al ser aplicada o utilizada en la herida de su compañero.

Ahora, la subcategoría en las actividades finales, se tienen los siguientes fragmentos de los discursos de los estudiantes:

“El empleado de la empresa de gas debe informar al joven en qué condiciones de instalación se encuentra los electrodomésticos, que a través del gas producen el Monóxido de carbono. Debe explicarle que la cantidad de Oxígeno influye en la combustión para que esta sea completa o incompleta.”

16ID-SM-F

“En si genera un conocimiento de lo que uno está consumiendo o que alguna persona debe tener en cuenta.”

91ID-JR-F

Se observa cómo, cuando a los estudiantes participantes se les plantea una situación (ver anexa A6) la cual deben explicar desde sus concepciones y conceptos aprendidos en las fases finales de la intervención, estos posiblemente hacen usos de los conceptos de una forma práctica; en la unidad de análisis (16ID-SM-F) lo que se encontró puede ser interpretado en dos aspectos: el primero de ellos se da cuando eventualmente el estudiante se apropia de forma implícita de las concepciones sobre las reacciones químicas, para dar una explicación sobre el evento que se desarrolla en la estufa de gas, produciéndose Monóxido de carbono. En un segundo aspecto, quizás se describe como la cantidad de Oxígeno determina si el proceso de reacción es completo o incompleto, aquí se podría interpretar que el estudiante tal vez ha relacionado los conceptos que ha adquirido con el fenómeno que se está observando.

Finalmente, al parecer los aspectos uno y dos relacionados en esta unidad de análisis son utilizados de forma simultánea para encontrar una explicación o solución a la situación planteada.

En el fragmento (91ID-JR-F) el estudiante trata de explicitar de manera muy general una aplicación de los conocimientos que sobre las leyes ponderales en su vida diaria.

4.2.2. Análisis categoría dos “Tipo de expresión del modelo mental”:

cuando los estudiantes ponen al dominio público sus modelos

mentales lo pueden hacer mediante el uso de varias representaciones, en esta categoría se identificarán las formas de exteriorización de dichos modelos mentales de los estudiantes, para tales efectos, hemos establecido las siguientes subcategorías basándonos en algunas ideas de Gilbert (2004): subcategoría (IIA) modelos verbal, referido a las descripciones de las entidades y las interrelaciones entre ellas puede ser oral o escrito; subcategoría (IIB) modelo simbólico, se fundamenta en el uso de fórmulas, símbolos, ecuaciones y expresiones matemáticas; y la subcategoría (IIC) modelo visual orientado principalmente en el uso de elementos gráficos como tablas esquemas y animaciones en dos dimensiones.

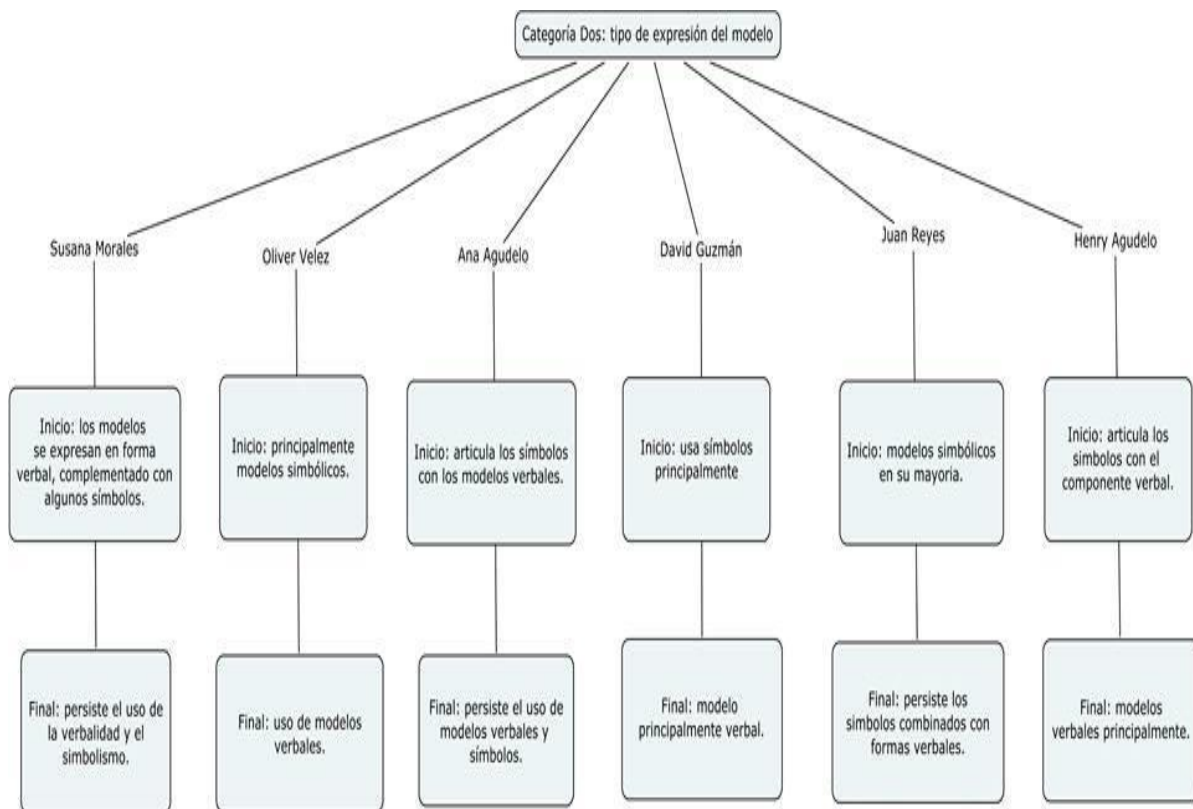


Grafico No. 4: Análisis categoría tipo de expresión del modelo mental.

En este punto del estudio, como en todas las categorías se incluye el gráfico que resume la manera como se identifican los tipos de expresión del modelo mental para cada uno de los estudiantes (ver gráfico No. 4). Con respecto a la categoría

dos, se encuentran algunas regularidades para los alumnos en las diversas fases del proceso de enseñanza y aprendizaje, tanto en los momentos iniciales, como en los finales. Los modelos mentales de los estudiantes sobre las leyes ponderales en general se expresan de manera verbal y utilizan los símbolos como herramienta para complementar dichos modelos.

La subcategoría (IIA) modelo verbal: esta subcategoría incluye las formas del modelo expresado por los estudiantes, caracterizado por un dominio de las descripciones orales y/o escritas; para abordarla analizaremos la siguiente unidad, la cual fue extraída de las actividades correspondientes a las fases iniciales del proceso de intervención:

“Ahora, lo que los hace diferentes podría ser sus compuestos que a diferencia del agua, el agua oxigenada resultaría toxica si esta se consumiera.”

4IIA-SM-I

En este fragmento se observa como el estudiante hace uso del lenguaje verbal para darle respuesta a la pregunta que se les plantea ¿Qué hace tan diferentes a dos sustancias como el agua y el agua oxigenada que en apariencia son tan similares? (ver anexo A4). Indicamos aquí, que en este discursó los estudiantes no utilizan correctamente el término “compuesto”, esto quizás se puede deducir, de la explicitación de dicha palabra como una especie de componente de las sustancias agua y agua oxigenada expuestos en su construcción textual. De igual forma, el discurso utilizado para enunciar sus explicaciones posiblemente está basado en la descripción de una experiencia cotidiana relacionada con el efecto de una de las sustancias dadas en la situación.

En la siguiente unidad de análisis se examina la subcategoría modelo verbal en las fases finales de intervención, así:

“Así, el Monóxido de carbono (CO) tienen una molécula menos de Oxígeno que el Dióxido de carbono (CO₂), cambiando algunas de sus propiedades aunque no varían mucho en sus características organolépticas, que son las que percibes con tu sentidos, así para que la

intoxicación no ocurra debe haber una buena ventilación y con esto una buena combustión.”

95IIA-HA-F

En esta unidad de análisis se puede observar como el estudiante combina el lenguaje verbal con el simbólico para construir una explicación que responda al planteamiento dado en el cuestionario denominado, el asunto de la estufa de gas, la pregunta formulada fue la siguiente “Ahora, si tanto el Dióxido de Carbono como el Monóxido de Carbono son sustancias sin olor, sin color y sin sabor ¿cómo hacer para diferenciarlas?” (Ver anexo A6).

En concreto, lo que se interpreta aquí es como de manera explícita los estudiantes al parecer hacen uso de los conceptos y definiciones de las leyes ponderales para explicar cómo varia la composición del Oxígeno, es importante evidenciar aquí que, en el análisis de la subcategoría para el estado inicial, se pudo detectar una dificultad para conceptualizar la palabra “compuesto”, en este fragmento, los estudiantes utilizan la palabra “molécula”, la cual también está siendo usada de manera errónea en el contexto del modelo verbal.

Por otra parte, el estudiante ha incorporado en el discurso de la unidad (95IIA-HA-F) nuevos términos para construir un significado que le permita dar explicación a la situación, esto podría deberse al hecho de que sus concepciones iniciales han introducido algunos conceptos nuevos, que se manifiestan en el uso del nuevo lenguaje.

Subcategoría modelo simbólico (IIB): para la exploración de este ítem se seguirá la ruta que hasta el momento se ha dispuesto para el análisis de la información recogida, entonces, la unidad de análisis para el estado inicial:

“a cada recipiente se le pondría su nombre, así podrían diferenciarse el uno al otro, el frasco que contiene en agua se escribiría su fórmula H₂O.”

Agua H ₂ O	Agua oxigenada Prohibido ingerir
--------------------------	-------------------------------------

En esta unidad de análisis se observa como el estudiante utiliza los símbolos para representar la fórmula del agua, aunque este símbolo siempre aparece acompañado de un texto que corresponde al nombre o característica del símbolo, lo que posiblemente se puede interpretar es que para el estudiantes la inclusión del símbolo químico podría tener un grado de significancia para construir un modelo más elaborado.

Si se analiza el fragmento anterior de manera conjunta con la siguiente unidad de análisis ambas para las fases iniciales de la intervención y como respuesta a los mismos planteamientos, se encuentra que en uno y otro caso los estudiantes usan los símbolos químicos para representar sustancias:

agua corriente H_2O
Agua oxigenada H_2O_2

Como ya se había indicado para el análisis de la unidad “3IIB-SM-I”, el estudiante al parecer otorga cierta relevancia a la inclusión de los símbolos cuando se trata de realizar una representación que permita distinguir dos sustancias que se encuentran compuestas por los mismos elementos pero que difieren en sus proporciones.

A continuación, en las etapas finales identificamos la siguiente unidad de análisis para la subcategoría nivel simbólico del modelo:

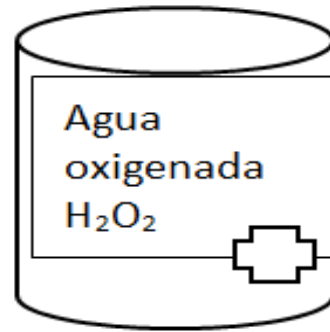
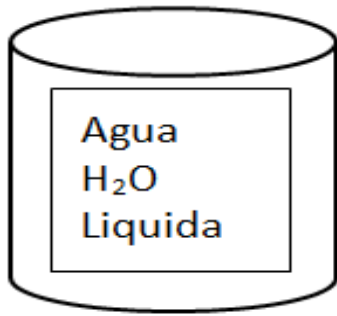
“La diferencia entre una sustancia y otra, producida a partir de la misma reacción dependen de la cantidad de elementos que se presenten en los productos. Es decir, el número de átomos presentes en la formula química. En este caso la reacción del gas con el Oxígeno, se representa lo siguiente:



En esta unidad de análisis, el estudiante usa los símbolos químicos para representar las sustancias que están analizando y dar respuesta a los planteamientos formulados en la actividad “el asunto de la estufa de gas” (ver anexo A6) en el que se pregunta cómo hacer para diferenciar las dos sustancias que se pueden producir en el proceso de combustión, posiblemente dichos símbolos podrían ayudarlos en este caso a poner en manifiesto algunas características de las sustancias que no son visibles en términos macroscópicos, pero que mediante el uso de las formulas pueden ser representadas. Estas características probablemente se orientan más a la parte sub microscópica, pues, dentro del contexto de los significados de las leyes ponderales se puede poner en manifiesto la diferencia de proporción de los componentes para el Dióxido de Carbono y el Monóxido de Carbono desde el uso de los símbolos y formulas químicas.

Si se comparan, las divergencias y convergencias que se presentaron entre las unidades analizadas en las diferentes etapas de la intervención. En las fases iniciales el modelo simbólico es usado principalmente para representar las sustancias y generalmente van acompañado del nombre de dicha sustancia, que se encuentra dentro de la estructura de un modelo verbal, sin embargo, en las fases finales las fórmulas de los compuestos químicos que hacen parte de los modelos simbólicos, al parecer son usadas para describir una propiedad sub microscópica de los compuestos químicos, como el número de átomos de cada elemento es decir, sus proporciones. Si se tiene en cuenta que, las propiedades sub microscópicas presentan una estructura teórica más compleja al ser descrita o explicada, podemos relacionar lo que aquí hemos inferido con las conclusiones de Galagovsky e Izquierdo (2001), que explican que cuando se trata de representar conceptos abstractos en el aprendizaje de las ciencias, los estudiantes favorecen el uso de visualizaciones que los ayudan a dar significado a los contenidos nuevos.

Subcategoría modelo visual (IIC): a partir del análisis de la siguiente unidad de significado:



93IIC-HA-I

El estudiante ha diseñado una representación de los componentes que debe tener la etiqueta para un recipiente de agua y otro de agua oxigenada, de tal modo que permita diferenciar o identificar su contenido, posiblemente la inclusión de los gráficos en esta unidad de análisis son usados por los estudiantes para poner en manifiesto características del agua y el agua oxigenada que facilitarían su uso, debemos tener en cuenta que el estudiante responde al problema ¿Qué escribirás en la etiqueta?, en este caso para diferenciar las dos sustancias (agua y agua oxigenada), quizás para los esquemas son útiles para aproximarse a la comprensión del fenómeno, esto debido a que observamos una cruz en la etiqueta para el agua oxigenada, este elemento gráfico o pictograma es muy frecuente en los recipientes que contienen productos de uso médico o de botiquín, lo que nos hace pensar que los estudiantes al incluir este elemento visual, posiblemente quieren dar a entender que al producto que contenga dicha imagen se utiliza con fines curativos o es indispensable en un botiquín.

En las fases finales para esta subcategoría, no se encontraron unidades de análisis correspondientes al ítem modelo visual, esto probablemente se puede explicar debido a que los estudiantes no encontraron relevante la inclusión de este tipo de elementos gráficos en los modelos construidos al finalizar la intervención.

4.2.3. Análisis categoría tres “nivel del modelo”: los niveles de los modelos elaborados por los estudiantes se refieren al grado de profundidad y explicabilidad que estos construyen en sus discursos.

Así, para el análisis de los niveles de los modelos se formularon subcategorías (nivel analógico IIIA y nivel Proporcional IIB). Teniendo en cuenta las unidades identificadas en esta categoría para cada estudiante se construye un gráfico que resume dicha ocurrencia (ver gráfico No. 5), en él se manifiesta que en general los niveles del modelo alcanzado por los estudiantes en las etapas iniciales y finales son analógicos, con una prevalencia de descripciones macroscópicas de las sustancias, es decir, no se alcanzan niveles predictivos o proposicionales. Se presenta para algunos estudiantes descripciones a nivel submicroscópico, pero no son muy reveladores.

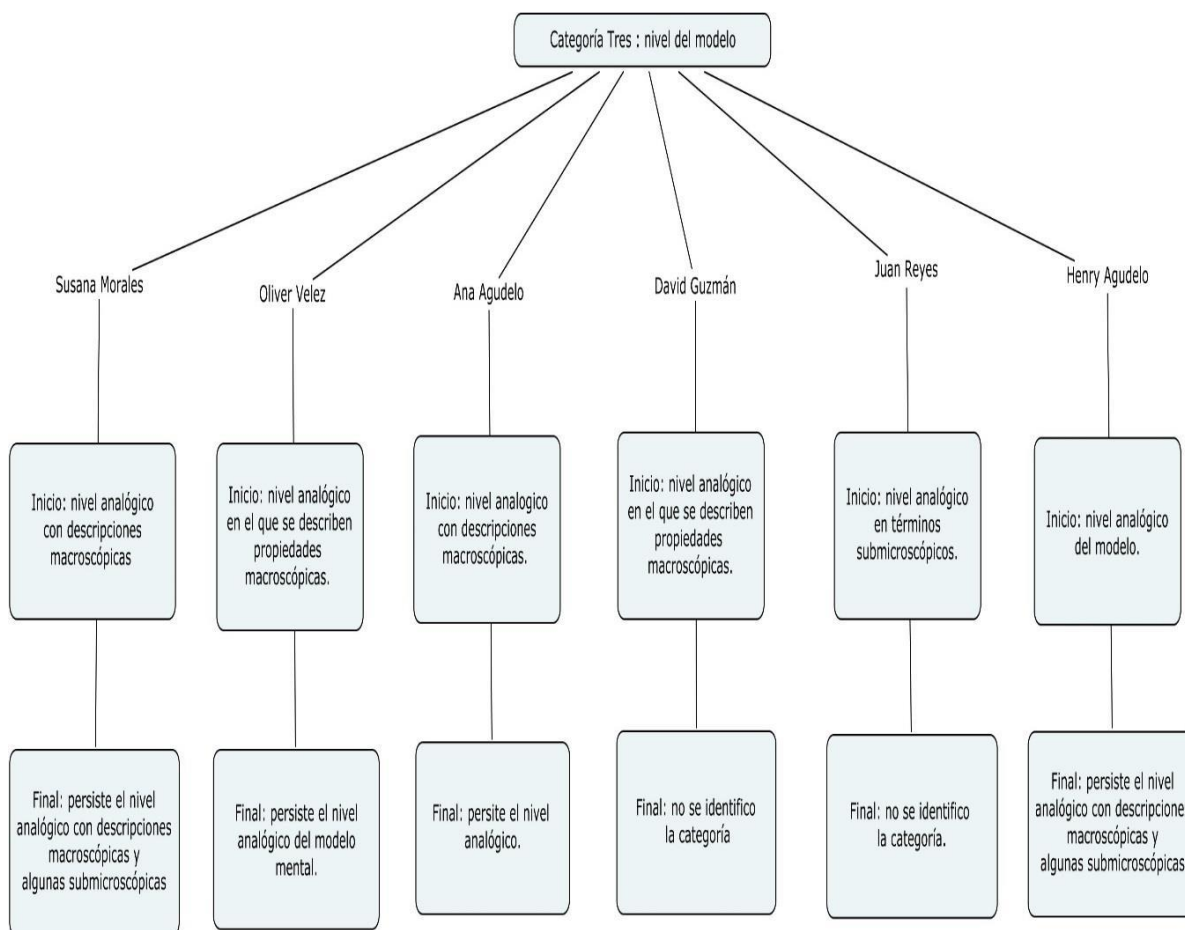


Grafico No. 5: Análisis de la categoría nivel del modelo.

Subcategoría nivel analógico (IIIA): empezamos con el nivel analógico en las etapas iniciales, este nivel se ha definido en términos de la capacidad descriptiva o principalmente cualitativa del modelo propuesto por los estudiantes. Para tal efecto, se tendrá en cuenta la siguiente unidad de análisis:

“Te sugeriría observar bien los dos frascos, ya que el agua oxigenada contiene, se observa que tiene muchas burbujas, como no las tiene agua.”

21IIIA-OV-I

En esta unidad el estudiante al responder a la situación planteada, relacionada con como diferenciar el agua del agua oxigenada que se encuentra presentes en dos recipientes iguales, construye una explicación que posiblemente evidencia el uso de los sentidos para determinar cualidades de las sustancias que le permita identificarlas o distinguirlas de otros, en vista de que con los sentidos solo podemos percibir algunas propiedades macroscópicas, en esta fase inicial los estudiantes posiblemente solo han alcanzado un nivel analógico para la definición del modelo.

Es importante señalar que, cuando el estudiante en su discurso parece corregir la palabra “contienen”, remplazándola por la término “se observan”, probablemente se ha dado cuenta que con la simple observación no podría determinar una característica sub microscópica, que para el caso sería, la composición de las sustancias.

Esta misma interpretación se podría obtener del siguiente fragmento:

“Para ayudar al joven a encontrar el frasco correcto, este debe identificar algunas características del agua oxigenada. Podría de utilizar algunos de sus sentidos, quizás el olfato. Así, podría saber cuál de ellos es.”

1IIIA-SM-I

Continuando con las unidades de análisis para las fases finales, se encuentra que:

“Estas dos sustancias aunque diferentes son producto de una reacción igual, esto se debe al Oxígeno que en diferentes cantidades influyen en las sustancias.”

14IIIA-SM-F

“¿Cómo hacer para diferenciarlas?”

R/ = se pueden diferenciar por el color de la llama, por el efecto que causa al tiznar las ollas y en la estufa los quemadores se humedecen.”

47IIIA-AA-F

Para interpretar estos fragmentos, se debe mirar en qué contexto los estudiantes lo construyeron, entonces, estas unidades de análisis corresponden a las respuestas que los estudiantes elaboraron cuando se les preguntó acerca de cómo diferenciar el Monóxido de carbono y el Dióxido de carbono que se produce en un proceso de combustión (ver anexo A6).

Lo que posiblemente el estudiante trata de expresar en su discurso de manera implícita en la unidad (1IIIA-SM-I), es como la variación de la cantidad de Oxígeno conduce a que en una misma reacción se produzcan sustancias diferentes, entonces se podría inferir aquí, que aunque el estudiante explicita las teorías de las leyes ponderales, estas son incorporadas de manera implícita en su discurso. Además, el nivel analógico de explicación del fenómeno ya no está orientado en términos macroscópicos, si no en términos sub microscópicos, pues aquí los estudiantes se refieren a la composición de las sustancias.

En el fragmento (47IIIA-AA-F), el estudiante se refiere también a características macroscópicas del monóxido de carbono y del Dióxido de carbono, al hablar de la capacidad del gas que se produce para tiznar las ollas, pero, en este caso no lo relaciona con la composición o cantidad de Oxígeno que interviene en la combustión.

Subcategoría nivel proposicional (IIIB): este ítem se ha descrito en términos de la capacidad que tienen el modelo del estudiante para realizar predicciones, para

esta subcategoría no se encontraron unidades de análisis; esto se puede explicar por el enfoque que se le dio en la intervención a los tópicos tratados, en este caso las leyes ponderales, pues aunque fueron enunciados en términos de cuantificación de los procesos químicos, las situaciones planteadas se analizaron en términos más conceptuales y no matemáticos, pues este componente se trabaja con profundidad en los aspectos estequiométricos de la química.

4.2.4. Análisis categoría cuatro “comprensión histórica-epistemológica del modelo”: la propuesta en este estudio está orientada desde el análisis de la incidencia de la enseñanza de las leyes ponderales desde una perspectiva histórica y epistemológica en la construcción de modelos mentales por parte de los estudiantes. Para la edificación de las incidencias del enfoque se elaboraron unas subcategorías que nos facilitaran dicho proceso de análisis, así, las subcategorías formuladas son: contexto histórico (IVA), necesidades y aplicaciones (IVB) y progresos de los modelos (IVC).

Este segmento se inicia con el análisis de la categoría para cada uno de los estudiantes soportado en el diagrama No. 6 en el cual representamos de manera resumida como se identifican las categorías en las fases iniciales y finales para cada uno de los estudiantes. De dichos diagramas se concretó que, en los primeros momentos los alumnos identifican las necesidades y aplicaciones que dieron origen al surgimiento de las leyes ponderales en un contexto histórico determinado, pero, en las fases finales los modelos mentales de los estudiantes asociados a esta categoría se orientan principalmente a los cambios y transformaciones que se llevan a cabo en los modelos de la ciencia.

A continuación, se realiza el análisis de cada una de las subcategorías que componen el subcapítulo de comprensión histórica-epistemológica del modelo conceptual de la ciencia.

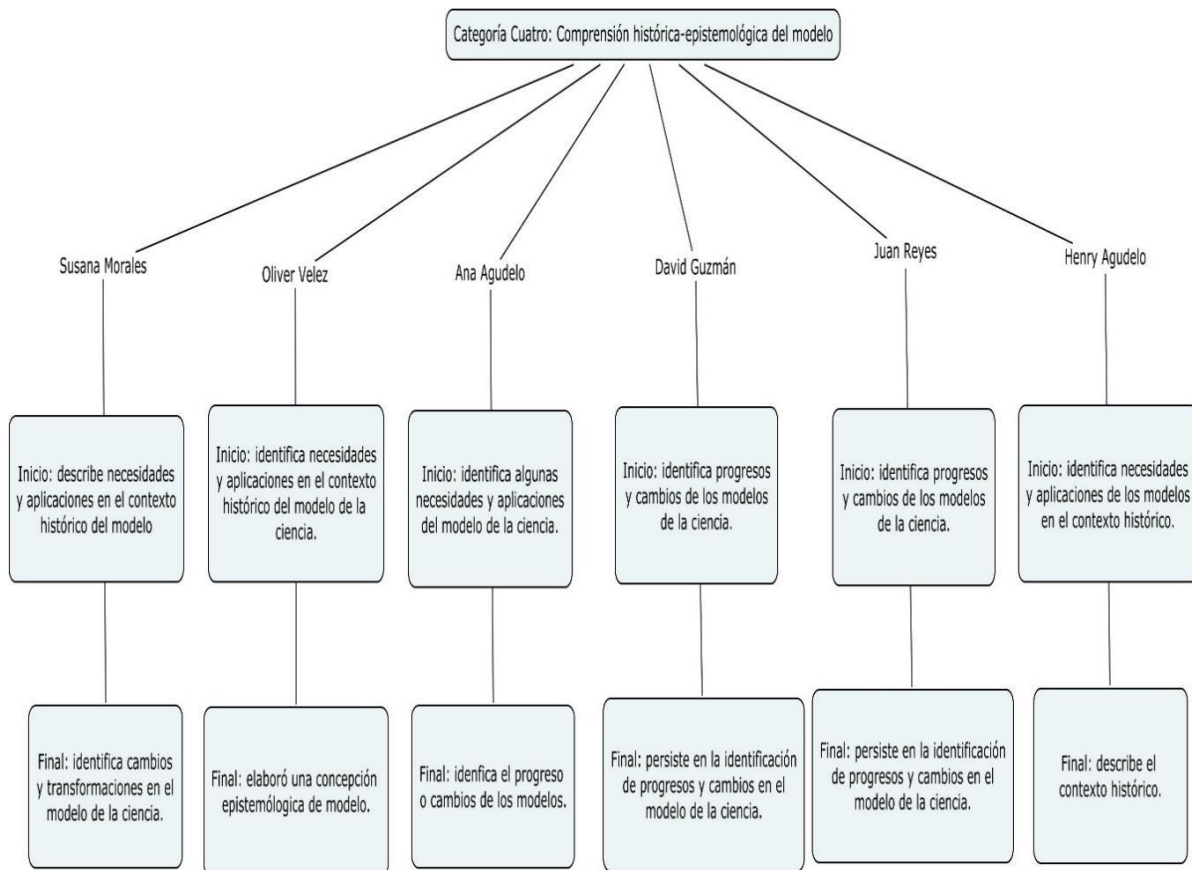


Grafico No. 6: Análisis de la categoría comprensión histórica- epistemológica del modelo.

Subcategoría contexto histórico (IVA): describe como en el discurso del estudiante se ponen de manifiesto elementos del contexto histórico que hicieron posible la formulación de las leyes ponderales. Para el análisis de la fase inicial se tomará la unidad de significado (100IVA-HA-I) que constituye el único hallazgo para esta etapa y subcategoría en la categorización secundaria:

“las leyes ponderales son leyes formuladas a finales de siglo XVIII y al principio del siglo IXX que han sentado las bases de la química moderna, infinidad de inventos y conocimientos que gracias a su aplicación simplifican nuestra vida en la actualidad”

100IVA-HA-I

En esta unidad de análisis el estudiante responde a los siguientes planteamientos “De acuerdo con la lectura, ¿qué has podido comprender sobre las leyes ponderales? ¿Qué utilidad tiene este conocimiento para comprender algunas situaciones que se viven a diario?”

Al abordar el texto de la unidad 100IVA-HA-I, se puede distinguir como el estudiante expresa que las leyes ponderales son un conjunto de teorías que se formularon en otra época, posiblemente para ellos, la formulación de estas leyes es de gran importancia no solo para la época en que fueron desarrollados, sino también en la actualidad. Esta interpretación se establece a partir del hecho que el participante explicita que estas leyes han sentado las bases para múltiples inventos y que además de esto, tienen una utilidad en la medida en que manifiestan que simplifican la vida.

Es necesario indagar este fragmento (33IVA-OV-F) correspondiente a la fase final del proceso de instrucción, el estudiante es sus explicaciones posiblemente ha incorporado una concepción epistemológica sobre sus concepciones de modelos, el participante eventualmente trata de establecer una característica epistemológica aceptable para cualquier modelo científico a sus concepciones:

“entonces como cada modelo científico es representado como un objeto de conocimiento, y no la naturaleza en sí, cada vez que nosotros estudiamos algo, estamos buscando un modelo, algo que metodológicamente de unos resultados algo que nos dé a entender que es, como es, que tiene, y cuales son sus componentes, y todo lo demás.”

33IVA-OV-F

Se observa que, los estudiantes tratan de manifestar que existe una diferencia entre lo que es el modelo y la realidad; y más aún, cual es el propósito que tiene dicho modelo. Esta manifestación del estudiante y el análisis que se hace de ella coincide con algunas de las características de los modelos mentales establecidas por algunos autores que manifiestan que, los modelos son una representación de la realidad y no la realidad en si (Moreira y Greca, 2002)

En cuanto al propósito del modelo, el sujeto informante probablemente tiene la intención de poner en evidencia el hecho que, los modelos se formulan para comprender y explicar algo, de otro lado se encuentra la incidencia que para ellos los modelos obedecen a una metodología que depende del objeto de conocimiento (ciencia o disciplina desde donde se formulan) cuando expresa “*algo*

que metodológicamente de unos resultados”, esta misma inferencia se puede obtener de la unidad de análisis (34IVB-OV-F).

“Cada vez que nosotros estudiamos algo, estamos buscando un modelo, algo que metodológicamente de unos resultados algo que nos dé a entender que es, como es, que tiene, y cuales son sus componentes, y todo lo demás.”

34IVB-OV-F

Al comparar las interpretaciones de las fases iniciales y finales, se encuentra que, en las primeras, el estudiante identifica elementos históricos que dieron origen a las leyes ponderales, sin embargo, en las fases finales, el participante ha sido capaz de estructurar una concepción epistemológica del modelo, de acuerdo con las características del modelo de la ciencia que propone Gallego-Badillo, Gallego-Torres y Pérez-Miranda (2009), lo que permitiría manifestar que ha construido una explicación más fundamentada sobre sus modelos de las leyes ponderales de la química.

Subcategoría necesidades y aplicaciones (IVB): para tener una comprensión de los procesos históricos y epistemológicos inherentes a las leyes ponderales de la química es preciso determinar cuáles fueron las necesidades, las razones y las situaciones que condujeron a su formulación, para tal efecto la categoría necesidades y aplicaciones nos permitirá identificar como el estudiante elabora una interpretación de este componente del enfoque en la intervención. Se tienen en cuenta primero las unidades de análisis referidas a las fases iniciales de la unidad didáctica, para ello se tomará la siguiente unidad de significado como parámetro para el análisis:

“el Carbono y el Oxígeno pueden combinarse como CO (Monóxido de Carbono) o como CO₂ (Dióxido de Carbono) ley de proporciones múltiples”

42IVB-AA-I

En esta unidad la estudiante responde al planteamiento “explica con tus propias palabras que preguntas o cuestiones según el texto condujeron a la formulación

de las leyes ponderales”, aquí se observa como la estudiante se refieren a dos sustancias que están compuestas por los mismos elementos, lo que la participante describe es que, muy posiblemente para comprender este fenómeno fue necesario la formulación de modelos que permitieran explicarlo. De otro lado, la joven en su análisis parte de manera intuitiva desde una situación (en este caso las combinaciones de Oxígeno y Carbono) para dar respuesta al planteamiento que se le ha formulado, de esto se puede interpretar, que ella supone que para que una teoría tenga aplicación debe haber una situación específica que la desencadene.

Al analizar esta otra unidad en la que uno de los participantes responde a los mismos planteamientos de la unidad de análisis anterior:

“los problemas que llevaron a la investigación de los nacientes científicos que se dio a mediados del siglo XIX, los científicos se vieron en la necesidad de investigar de consultar como desarrollar la formulación de las leyes ponderales”

57IVB-DG-I

En este fragmento, el estudiante de manera muy general se refiere al contexto histórico. Se concluye en este punto de la investigación que, los participantes declaran en su discurso que las leyes ponderales son el producto de un proceso de investigación. Posiblemente de manera implícita reconocen que las teorías científicas no son arbitrarias, sino que responden a problemas que surgen en determinando momento de la historia de la humanidad.

En el estado final se interpreta una unidad de análisis tomada de la transcripción literal del discurso del estudiante durante una exposición sobre fragmentos de artículos sobre historia y epistemología de las leyes ponderales, veamos:

“...cada vez que nosotros estudiamos algo, estamos buscando un modelo, algo que metodológicamente de unos resultados algo que nos dé a entender que es, como es, que tiene, y cuales son sus componentes...”

34IVB-OV-F

En este discurso, el alumno seguramente manifiesta desde un contexto general el por qué la necesidad de la formulación de los modelos en ciencias. Podríamos descifrar de la disertación, que los estudiantes hacen que, el entendimiento de los fenómenos naturales es una necesidad, y que para la comprensión de dichos fenómenos los modelos son diseñados, sometidos a pruebas y usados. Aunque el estudiante utiliza un lenguaje coloquial, en el, probablemente deja entrever concepciones epistemológicas sobre la caracterización de los modelos, esto porque se refiere a la parte metodológica.

En este otro fragmento para la misma subcategoría en el estado final, se observa como los estudiantes tratan de identificar los orígenes de las formulaciones de las leyes ponderales. La unidad de análisis corresponde a un fragmento de la transcripción del discurso del estudiante durante la exposición sobre los artículos de historia y epistemología, la que se interpreta en dos momentos:

“...un gran alcance en la ciencia fue cuando comenzaron la cantidad de materia que se ve en las reacciones químicas, desde allí vienen...eee...se desarrollan las leyes ponderales.”

62IVB-DG-F

Como primero, posiblemente los estudiantes en su discurso reconocen la importancia de la formulación de la leyes ponderales para el estudio de la materia, además, tratan de explicitar que la formulación de estas leyes comenzaron con el estudio de las cantidades de materia que se dan en un cambio químico, de esto podríamos interpretar que los estudiantes reconocen un punto de partida que desencadenó el estudio de los fenómenos en los que dichas leyes pudieran explicarlos.

Las categorías analizadas en las fases finales muestran que los estudiantes han construido una concepción en la que las necesidades y aplicaciones de los modelos se presentan en términos generales para la comprensión del mundo en términos globales y desde una postura permeada por la epistemología, de manera contraria en las fases iniciales los participantes recurren a situaciones particulares

o ejemplos para explicitar las necesidades y aplicaciones de los modelos de la ciencias.

Subcategoría progreso de los modelos (IVC): los modelos de la ciencia no son constructos estáticos ni irrefutables, por el contrario, pueden cambiar con el tiempo y con las nuevas formas de ver e interpretar el mundo desde un contexto determinado (Giere, 1999). De allí, que en esta subcategoría se espera establecer aquellas unidades de análisis en la que los estudiantes identifican los cambios y progresos de los modelos de la ciencia.

Se inicia con la interpretación de esta subcategoría en la fase inicial de la intervención, escudriñando en la siguiente unidad:

“El sistema de Berzelius presentaba una mayor facilidad a la hora de simbolizar un elemento químico, porque del mismo nombre se puede extraer su símbolo en la mayoría de las veces. En cambio, los símbolos de Dalton se necesitan más tiempo para representarlos y resulta muy engorroso.”

78IVC-JR-I

En esta unidad de análisis los estudiantes responden a la siguiente cuestión “argumenta: que ventajas y que desventajas tienen los símbolos propuestos por Dalton y los propuestos por Berzelius que aún se utiliza hoy para la comprensión de fenómenos naturales relacionados con compuestos químicos y con las leyes ponderales”. Lo que se puede interpretar de esta proposición es que, el estudiante posiblemente reconoce que durante algún tiempo los símbolos propuestos por Dalton fueron usados, pero, cuando Berzelius formula un nuevo tipo de modelo simbólico para la representación de los elementos químicos, antes de ser acogidos se analizan las ventajas y desventajas que este ofrecía frente al modelo que reemplazaría. De manera implícita en el texto se explica el proceso de cambio de un modelo a otro para los símbolos químicos.

En esta narración del estudiante, se puede interpretar como se pone de manifiesto que en sus concepciones se presentan algunas características generales de los

modelos científicos, aunque este se elabora desde un lenguaje cotidiano. En la siguiente unidad de análisis la estudiante responde a la misma pregunta que en el fragmento anterior, aquí, también trata de identificar las razones que llevan a escoger entre un modelo y otro en la ciencia y además, se intenta cuestionar los símbolos que actualmente usamos para representar los elementos químicos, cabe resaltar que no es muy clara en su disertación.

Desventajas Berzelius

Análisis y construcción de los signos.

11IVC-SM-I

En este punto del estudio, se comprueba la unidad de análisis para esta subcategoría en la fase final:

“la sustancias químicas tienen composiciones constantes, esto fue establecido por Proust en la ley de las proporciones constantes o definidas, en contradicción Berthollet pensaba que los compuestos químicos no eran constantes, Dalton formulo una pregunta ¿era posible que las combinaciones se den en cualquier proporción?, sin embargo John Dalton se pronunció a favor de Proust ya que este tenía ideas de las proporciones definidas de la materia”

18IVC-SM-F

Partiendo de este texto, es posible inferir que la estudiante ha incorporado elementos históricos y epistemológicos en su discurso, además, los estudiantes explicitan que dentro del proceso de formulación de la ley de las proporciones definidas, se presentaron debates entre explicaciones opuestas para un mismo fenómeno, a razón de esto, existe la probabilidad que los estudiantes hayan incorporado a sus concepciones la acepción que las teorías científicas pueden cambiar y que dicho cambio depende de los argumentos y fundamentos con los cuales las teorías se estructuran.

En este aparatado o unidad de análisis, se puede rescatar como los estudiantes hacen mención de varios personajes alrededor de un teoría científica, esto quizás,

porque han inferido que los modelos de la ciencia no son constructos de personas que trabajan individualmente, si no que interactúan diversos personajes en su elaboración o también, puede indicar la conexión histórica y el hilo conductor temporal de los postulados de la ciencia.

Para complementar el análisis de fase final para esta subcategoría, se tiene en cuenta el siguiente fragmento extraído de la transcripción de la entrevista que se realizó a uno de los participantes, en ella, él trata de explicar la incidencia que pueden tener los símbolos en la comprensión de algunos fenómenos químicos:

“Pues mirando allí mirando allí en la historia de John Dalton que diseño los símbolos que eran unos círculos, luego llego Berzelius y le dijo que no que esos eran muy engorros.”

89IVC-JR-F

Lo que expresa el estudiante permite deducir que para él, los símbolos de los elementos químicos han cambiado a través de la historia, y que dicho cambio obedece a la aplicabilidad del dicho modelo propuesto. Tanto en la unidad (89IVCJR-F), como en la unidad 18IVC-SM-F, los estudiantes han aprovechado el contexto histórico para determinar los cambios que pueden sufrir los modelos de la ciencia, al contrastar estos con los análisis obtenidos en la fase inicial encontramos que, las explicaciones formuladas en las fases finales se encuentran más claras y fundamentadas que el fases iniciales.

4.2.5. Análisis categoría cinco “factores que inciden en la modelización”: al efectuar un estudio como el desarrollado, se vuelve necesario identificar de qué manera el enfoque usado ha incidido en el aprendizaje de los estudiantes, para el caso, en la construcción de modelos mentales. Para cumplir con este propósito se esbozan dos subcategorías que describen los factores que inciden en la modelización, el primero de ellos corresponde al impacto de la historia y la epistemología (VA), y el segundo a las dificultades en el proceso de modelización.

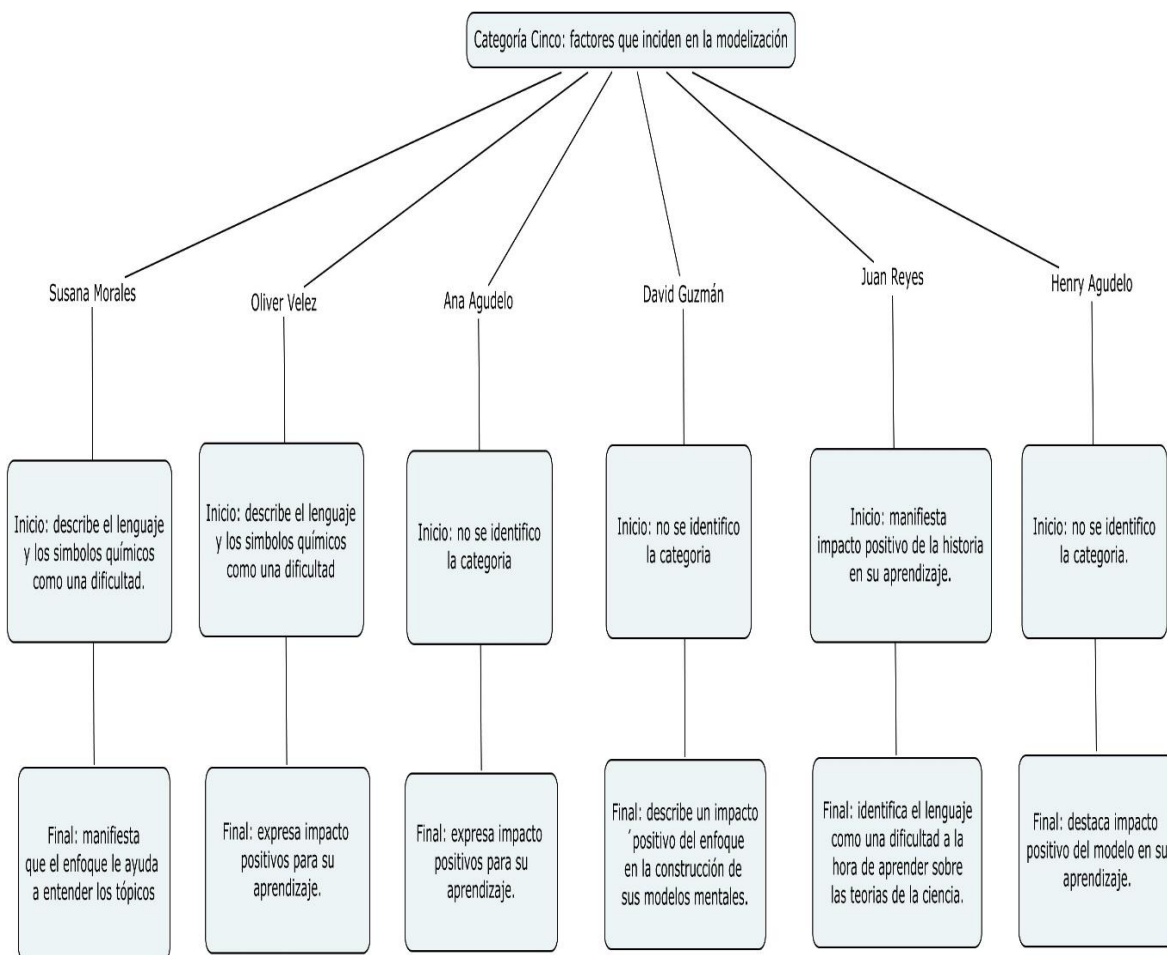


Gráfico No. 7: Análisis categoría factores que inciden en la modelización.

En el análisis de esta categoría también se ha elaborado un gráfico (ver gráfico No. 7) en el que se resumen su ocurrencia para cada uno de los estudiantes participantes, en dicho gráfico se identifican una serie de regularidades tanto en las fases finales como en la iniciales, al hablar de la etapas iniciales se observa que para tres de los seis estudiantes no fue posible identificar unidades que se relacionaran con la categoría en cuestión, sin embargo para los otros tres estudiantes se encontró que manifiestan que, el lenguaje y los símbolos químicos son una dificultad en el proceso de enseñanza y aprendizaje. En las actividades finales la mayoría de los estudiantes expresan que el enfoque usado incide de manera positiva en su aprendizaje de la química.

A continuación, se desglosa el análisis de esta categoría teniendo en cuenta las subcategorías construidas para dicho fin.

Subcategoría impacto de la historia y la epistemología (VA): en este apartado se pretende identificar aquellas unidades de análisis en las que se pueda interpretar de las opiniones de los estudiantes sobre el impacto del enfoque histórico y epistemológico en su aprendizaje. Se debe comenzar con las unidades que emergieron en las fases iniciales, para esta subcategoría no identificamos unidades de significado referidas a el impacto de la historia y la epistemología en el discurso de algunos de los estudiantes, la razón de este fenómeno puede explicarse desde el hecho, que en las fases iniciales de la intervención aún no se podía estimar un impacto significativo del enfoque, pues solo pudieron tener contacto el estudiante con actividades en las que se incorporara el enfoque histórico y epistemológico en una oportunidad.

Al observar, una de las unidades de análisis que surgieron en la fase final de la intervención:

“teniendo en cuenta los aspectos de la historia uno puede tener una visión más amplia de lo que son los temas, por ejemplo, en este caso de la leyes ponderales cuando trabajamos a Lavoisier, pues un conocimiento de la historia, como llego allí, la esposa que también le ayudaba, tener una visión más grande de lo que es la teoría, y pues difícilmente se va a olvidar, uno se acuerda de los aspectos de la historia, enfoca esa teoría con que estudio una vez por allá.”

88VA-JR-F

Lo que posiblemente el estudiante trata de manifestar es como el enfoque histórico y epistemológico incide en su aprendizaje de las leyes ponderales, de su relato se podría inferir que, para los estudiantes el estudio de los modelos de la química se puede alcanzar un nivel más profundo de comprensión de las teorías de esta ciencia. De otro lado, cuando el estudiante manifiesta *“como la esposa lo ayudaba”* quizás es una evidencia de que en sus nuevas concepciones hay una visión diferente sobre las formas en que surgen las teorías científicas, esto porque

pone en manifiesto que para el caso de Lavoisier recibía apoyo o ayuda de su pareja. Proporcionando quizás una herramienta para modificar ideas algunas sobre el trabajo de los científicos, en los que estos son vistos como personajes de elite e individualistas (Gil *et al.*, 2005).

Poniendo énfasis en esta otra unidad de análisis para la misma subcategoría:

“...que estas esta ultimas clases conocimos muchas más cosas sobre el origen de la química, de su origen epistemológico y nos ha ayudado mucho a entender más esta ciencia y a saber aplicar en la vida cotidiana que es algo muy importante del conocimiento...”

104VA-HA-F

En este fragmento el estudiante responde a la pregunta formulada durante la entrevista al final de la intervención “¿Qué fue lo que más te llamo la atención de las últimas clases?”, partiendo del contexto de la pregunta el estudiante manifiesta de forma explícita que le llamo la atención al tema que se basó en el estudio de la química, posiblemente para el estudiante este aspecto fue relevante a razón de que le permite entender más y aplicar la ciencia, esto se puede relacionar con la frase que expresa “...nos ha ayudado mucho a entender más esta ciencia y a saber aplicar en la vida cotidiana...”

Finalmente, cuando se comparan las ideas de Giere (2001) en cuanto a que este autor se refiere a la historia como un agente o componente básico en la enseñanza de las ciencias, y las concepciones de Osborne, Simon, y Collins (2003) en la que se ponen en manifiesto el potencial de la historia para generar un aprendizaje con sentido y significado en los estudiantes, se analiza la siguiente unidad en la que se pone en evidencia los dos aspectos referidos anteriormente:

“Si, pues obviamente estos símbolos nos ayudan...eee...los símbolos nos pueden ayudar a comprender muchas cosas por ejemplo, son cosas que solamente se pueden ver matemáticamente, o nos ayudan a comprender como estas situaciones pueden interactuar entre ellas, pero matemáticamente hablando o lógicamente hablando, porque una cosa es como es prácticamente, ósea de forma práctica y como es dentro de las formulas.”

Lo que se puede interpretar de esta unidad de análisis, en la que el joven expresa en la entrevista la respuesta al siguiente planteamiento (como crees que la historia incorporada en las clases incidió en tu aprendizaje), es que para el estudiante el aprendizaje de la química es más que formulas, y que esas fórmulas tienen un significado y una utilidad práctica, quizás lo que él trata de expresar es que con el enfoque histórico se presenta una mayor profundidad de los conocimientos en el contexto de una situación dada.

Subcategoría obstáculos en el proceso de modelización (VB): al ser este estudio de carácter práctico que busca develar las características de un fenómeno educativo como en la construcción de modelo por parte del estudiante, se hace necesario la identificación de aquellos factores que obstaculizaron el proceso de modelización por parte de los estudiantes. Para analizar este componente se debe tener en cuenta la siguiente unidad de análisis en la fase inicial del acto pedagógico:

“la complejidad de los nombres latinizados”

12VB-SM-I

En esta unidad o fragmento en la que el estudiante se le formula la pregunta sobre las desventajas que ofrecen los símbolos de Berzelius para la representación de los elementos y formulas químicas, la respuesta que el construye en esta unidad de análisis podría permitirnos interpretar que el lenguaje en el cual se orientan los símbolos usados en química para representar los elementos y los compuestos, resultan complicados o generan alguna dificultad, posiblemente esto tiene que ver con el hecho que los nombres latinizados son poco familiares para el estudiante, Una interpretación parecida se puede obtener en otra unidad de análisis. Analicemos otra unidad relacionada con la misma subcategoría:

“sería mucho más complicado ya que existen sustancias químicas que empiezan con la misma letra lo cual podría causar una confusión”

En este fragmento el estudiante manifiesta de manera explícita lo que para él puede ser una dificultad a la hora de representar las sustancias mediante los símbolos químicos, analizando más allá de lo que el informante manifiesta, lo que se podría intuir es que el estudiante no tiene un conocimiento acertado de las normas o características de los modelos simbólicos de los elementos químicos, pues, dentro de los elementos de la tabla periódica aunque hay elementos que empiezan con la misma letra, la segunda letra del símbolo los diferencia; esto posiblemente constituye para los estudiantes un obstáculo, ya que al no comprender ni identificar correctamente los símbolos de los elementos pueden interpretar de manera errada lo que se esté explicando con el uso de ellos.

Seguidamente, se examina una de las unidades emergentes en las actividades de la fase final para esta subcategoría:

“Entonces, uno se puede dar cuenta que aunque los símbolos resumen tienen un significado, hay veces que algunos son muy complejos y pueden generar dificultades. Pero, un símbolo representa muchas cosas, resumiendo parte de los que se quiere expresar, entonces, un símbolo es algo necesario y algo que es bueno para la química”

90VB-JR-F

En esta unidad de análisis el estudiante posiblemente se refiere al hecho que para él, los símbolos que representan los elementos químicos pueden generar una dificultad a la hora de comprender un fenómeno mediante el modelo que lo representa o explica, sin embargo, ponen en manifiesto la importancia que estos pueden tener a la hora de elaborar una simbolización de las sustancias.

Para que se pueda interpretar la subcategoría de forma completa, se debe explicar otra unidad emergente en la fase final.

“Así, el Monóxido de carbono (CO) tienen una molécula menos de Oxígeno que el Dióxido de carbono (CO₂)”

102VB-HA-F

En este fragmento se observa como el estudiante utiliza la expresión molécula en su discurso, posiblemente el estudiante aquí utiliza la palabra molécula como un sinónimo de elemento, lo que en términos de comprensión de las leyes ponderales podría generar una confusión ya que el uso que le dan no se atribuye a un concepción correcta de esta palabra para el modelo de la ciencia. Nuevamente el lenguaje de la ciencia aparece entonces como un posible obstáculo para la modelización por parte de los estudiantes.

Para finalizar revisemos la última unidad de análisis:

“Camilo el Monóxido de carbono y el Dióxido de carbono, a pesar que tienen los mismos elementos (compuestos químicos), se diferencian una a la otra ya que es un cambio en la cantidad de partículas de Oxígeno varía entorno una a la otra”

30VB-OV-F

El estudiante en esta unidad de análisis utiliza tres términos (elemento, compuestos y partículas), en la interpretación del discurso del estudiante notamos que posiblemente no utiliza estos términos de acuerdo con el modelo conceptual de la ciencia; cuando usa la palabra partícula lo hacen refiriéndose al átomo de Oxígeno, lo que podría constituir una dificultad en la conceptualización de las leyes ponderales y otros fenómenos relacionados de la química. De otro lado, relaciona la palabra elemento con compuesto, en este caso al parecer la relación que describe el discurso no es de los elementos como parte del compuesto sino como palabras que tienen el mismo significado. Entonces, si no existe una claridad sobre los significados de estos términos usados en las leyes ponderales y en la química posiblemente se generen obstáculos de modelización.

Si se comparan los hallazgos obtenidos en las fases inicial y final para la subcategoría, dificultades en el proceso de modelización, se identifica, que en ambos momentos el lenguaje y los símbolos propios de la química resultan ser para los estudiantes una dificultad, una visión parecida es expresada por Cardellini (2012), cuando manifiesta que el lenguaje muy especializado de la química constituido por un alfabeto simbólico puede constituir una barrera a la hora de

acceder a ella. Sin embargo, aunque en la mayoría de los estudiantes persiste este fenómeno como una dificultad, se observa cierto grado de incorporación del lenguaje y los símbolos químicos en sus disertaciones, y más aún, se muestra evidencia de una posible profundización en cuanto a los significados de los modelos químicos (ver unidad de análisis 90VB-JR-F).

4.2.6. Análisis comparativo entre modelos mentales de los estudiantes y los modelos conceptuales de la ciencia: con el propósito de describir la semejanza o diferencia entre los modelos mentales expresados por los estudiantes y los modelos conceptuales de la ciencia referidos a las leyes ponderales de la química, se plantea la realización de un análisis comparativo de estos modelos mediante la construcción de una tabla, tomando como referencia la tabla para análisis adaptada de la propuesta de Furio y Domínguez (2007).

Los modelos conceptuales de la ciencia son diferentes de otros tipos de modelos, estos se pueden definir como “*representaciones externas compartidas por una determinada comunidad y consistentes con el conocimiento científico que esa comunidad posee*” (Moreira, Greca, y Rodríguez, 2002, p. 9). Además, estos modelos son elaborados por la acción conjunta de la comunidad científica, que cuenta con herramientas eficaces para representar aspectos de la realidad (Galagovsky e Izquierdo-Aymerich, 2001)

Los modelos conceptuales se formulan mediante un proceso sistemático que implica “*un recorte de la realidad que se considera teóricamente relevante, este corte abstrae, simplifica, reestructura y análoga los diferentes elementos, dando lógica a un sistema en particular. Este sistema a su vez, es solo uno de los posibles sistemas que esa porción de realidad seleccionada admite* (Ibíd., p. 233). Cabe señalar que, las anteriores formulaciones sobre los modelos conceptuales son necesarias para los propósitos de este apartado del análisis.

Para que el lector tenga claridad de cómo se desarrollara dicho análisis lo describiremos brevemente. En la primera columna de la tabla aparecerán los modelos mentales construidos por los estudiantes alrededor de las teorías sobre las leyes ponderales en la fase final de la intervención, en la segunda columna se expondrán los modelos de la ciencia sobre las leyes ya mencionadas y, en la columna final, se dispone de un análisis sobre la semejanza o diferencia entre ambos modelos. Para la formulación de los modelos de la ciencia se utiliza como referencia el artículo de la Journal of the Chemical Society “bases históricas sobre materia, masa y leyes ponderales” (Bascuñán, 1999) y el artículo de la revista electrónica de enseñanza de las ciencias, que lleva el título “una aproximación epistemológica a las leyes fundamentales de la química (Gallego-Badillo, Gallego-Torres y Pérez-Miranda, 2009). El orden en el que aparecen los estudiantes en el análisis corresponde al establecido en el diseño metodológico, teniendo en cuenta los resultados en los cuestionarios de la fase inicial del proceso de intervención. Todas las unidades que se analizan corresponden a actividades de la fase final de la unidad didáctica, específicamente de la actividad denominada “el asunto de la estufa de gas” (ver anexo A6).

Susana Morales

Al analizar las unidades de análisis identificadas en el discurso de esta estudiante, observamos que sus concepciones iniciales sobre las leyes ponderales podrían obedecer a explicaciones fundamentadas en sus experiencias cotidianas, así, cuando examinamos las unidades de análisis en la fase final se encuentra que sus nuevos constructos se han visto permeados por los conceptos científicos, formulando nuevas explicaciones en las que procura incorporarlas para dar respuesta a los planteamientos que se le propusieron. En la tabla No. 5, comparamos los modelos mentales de Susana Morales con los modelos conceptuales de la ciencia

Modelos mentales de los estudiantes	Modelos conceptuales	Análisis comparativo
<p>“estas dos sustancias aunque diferentes son producto de una reacción igual, esto se debe al Oxígeno que en diferentes cantidades influyen en las sustancia.” 14IIIA-SM-F</p> <p>“la sustancias químicas tienen composiciones constantes, esto fue establecido por Proust en la ley de las proporciones constantes o definidas, en contradicción Berthollet pensaba que los compuestos químicos no eran constantes, Dalton formulo una pregunta ¿era posible que las combinaciones se den en cualquier proporción?, sin embargo John Dalton se pronunció a favor de Proust ya que este tenía ideas de las proporciones definidas de la materia” 18IVC-SM-F</p>	<p>Ley de las proporciones múltiples: esta no es una ley empírica, pues fue obtenida por Dalton como consecuencia o deducción de su teoría atómica. La ley se refiere al caso de que dos elementos químicos forman varios compuestos. Por ejemplo: C y O forman los óxidos, CO (Monóxido de carbono) y CO₂ (Dióxido de carbono).</p> <p>Esta ley establece que si dos elementos forman diferentes compuestos los pesos de uno de ellos se combinan con una cantidad fija del otro, están entre si relacionados en números enteros sencillos.</p> <p>(Asimov, 1984; Bascuñán, 1999; Gallego-Badillo, Gallego-Torres y Pérez-Miranda, 2009)</p>	<p>En este apartado la estudiante se apropia de un ejemplo para explicar su interpretación de la ley, aunque no describe las definiciones, posiblemente ha interpretado la ley en términos de que existen sustancias que poseen los mismos elementos en su composición, pero con variación en la proporciones. En este caso se evidencia una semejanza con el modelo de la ciencia. Desde este contexto, podríamos interpretar que el modelo de la informante adolece de explicaciones en términos de relación de pesos entre los componentes de las sustancias (explicación que está presente en el modelo conceptual), pues en su discurso se está explicando la diferencia entre el Monóxido de carbono y el Dióxido de carbono, que se pueden producir en una proceso de combustión incompleta o completa y en ello no explicitan tal relación.</p>

Tabla No. 5: Modelos conceptuales v/s modelos mentales de “SM”.

Oliver Vélez

En las fases iniciales el estudiante Oliver Vélez no se refiere de manera explícita a conceptos sobre leyes ponderales para explicar las situaciones que se le plantean, en contraste, en las fases finales trata de incorporar de manera un poco más explícita los conceptos relacionados con las leyes ya fundamentales de la química, sin embargo, recurre a ejemplos y situaciones para propiciar analogías que le permitan explicar los conceptos sobre las leyes ponderales. Se podría inferir de su discurso que, le ha asignado cierto grado de relevancia al enfoque histórico y

epistemológico dentro de su proceso de aprendizaje. Si se observa la tabla No. 6 en la que se analizan los modelos mentales de este estudiante con los modelos conceptuales.

Modelos mentales de los estudiantes	Modelos conceptuales	Análisis comparativo
<p>“Porqué Camilo el Monóxido de Carbono y el Dióxido de Carbono, a pesar que tienen los mismos elementos (compuestos químicos), se diferencian una a la otra ya que es un cambio en la cantidad de partiduras de Oxígeno varia entorno una a la otra.” 30VB-OV-F</p>	<p>Ley de las proporciones múltiples: esta no es una ley empírica, pues fue obtenida por Dalton como consecuencia o deducción de su teoría atómica. La ley se refiriere al caso de que dos elementos químicos forman varios compuestos. Por ejemplo: C y O forman los óxidos, CO (Monóxido de Carbono) y CO₂ (Dióxido de Carbono). Esta ley establece que si dos elementos forman diferentes compuestos los pesos de uno de ellos se combinan con una cantidad fija del otro, están entre si relacionados en números enteros sencillos. (Asimov, 1984; Bascuñán, 1999; Gallego-Badillo, Gallego-Torres y Pérez-Miranda, 2009)</p>	<p>En la unidad de análisis (30VB-OV-F) el estudiante no construye un definición generalizada para las teorías sobre la ley de las proporciones múltiples, como sucede con los modelos conceptuales, se apropia de un ejemplo para explicar su interpretación de la ley, es factible que el joven haya interpretado la ley en términos de que existen sustancias que poseen los mismos elementos en su composición, pero con variación en las cantidades. En este caso se evidencia una semejanza con el modelo de la ciencia. Podemos destacar aquí que, el modelo conceptual cuenta con una definición o explicación que generaliza el modelo y un ejemplo que lo conecta con un fenómeno natural diferente al modelo mental del estudiante en donde solo recurre a un ejemplo para explicar el fenómeno en cuestión. De todo esto inferimos que los modelos conceptuales de la ciencia son más completos y más estructurados que los modelos mentales, en parte porque estos últimos incluyen elementos innecesarios y erróneos (Moreira, Greca, y Rodríguez, 2002)</p>

Tabla No. 6: Modelos conceptuales v/s modelos mentales de “OV”.

Ana Agudelo

En la interpretación de la información obtenida para Ana Agudelo, se detecta que la estudiante tanto en la fase inicial como en la fase final para la mayoría de las categorías trata de relacionar los significados de los conceptos con los fenómenos que se le plantearon, prevalece en su discurso el uso de lenguaje cotidiano en ambas fases del proceso de instrucción y sus unidades de análisis no son muy claras sobre los significados de las leyes ponderales, esto lo pondremos en

evidencia en el análisis comparativo de los modelos mentales de esta estudiante con los modelos conceptuales (ver tabla No 7.

Modelos mentales de los estudiantes	Modelos conceptuales	Análisis comparativo
<p>“Son de la misma reacción con el gas el aire en contacto con calor produciendo la llama, solo que utilizan diferentes proporciones, esto se evidencia en la llama que producen (según el color de la llama).” 46IC-AA-F</p>	<p>Ley de las proporciones múltiples: esta no es una ley empírica, pues fue obtenida por Dalton como consecuencia o deducción de su teoría atómica. La ley se refiere al caso de que dos elementos químicos forman varios compuestos. Por ejemplo: C y O forman los óxidos, CO (Monóxido de carbono) y CO₂ (Dióxido de carbono). Esta ley establece que si dos elementos forman diferentes compuestos los pesos de uno de ellos se combinan con una cantidad fija del otro, están entre si relacionados en números enteros sencillos. (Asimov, 1984; Bascuñán, 1999; Gallego-Badillo, Gallego-Torres y Pérez-Miranda, 2009)</p>	<p>Tanto en el modelo de la ciencia como en el modelo mental de la estudiante encontramos que se recurre a un ejemplo o fenómeno de la naturaleza para construir el modelo, sin embargo, el modelo mental de ella adolece de una estructura conceptual generalizada. Rescatamos en este fragmento que el modelo mental de la estudiante aunque solo está referido a un ejemplo, habla de las proporciones, pero no especifica de que tipo. Podemos inferir que el modelo de Ana no es claro al explicar el fenómeno.</p>

Tabla No. 7: Modelos conceptuales v/s modelos mentales de “AA”.

David Guzmán

En la tabla No. 8, se expone el análisis comparativo de los modelos mentales elaborado por el estudiante David Guzmán. Este estudiante en las etapas iniciales utiliza explicaciones basadas al parecer en experiencias cotidianas, que luego son retomadas en las fases finales pero fundamentadas con nociones sobre los conceptos de las leyes ponderales.

Modelos mentales de los estudiantes	Modelos conceptuales	Análisis comparativo
<p>“la ley de la conservación de la masa que es la de Lavoisier, que es la que nos dice que en las</p>	<p>Ley de la conservación de la masa: en una reacción química cerrada ordinaria la masa permanece constante, es decir, la masa consumida de los reactivos es igual a</p>	<p>Al comparar estos dos conceptos, encontramos que en el modelo formulado por el estudiante describe los principios fundamentales del modelo conceptual de la ciencia en cuanto se</p>

<p>reacciones químicas es muy importante la cantidad por el peso de los reactivos, entonces nos dice que siempre va a ser la misma cantidad cuando va a comenzar el proceso de reacción y cuando vaya a terminar” 63IA-DG-F</p>	<p>la masa obtenida de los productos. La ley de la conservación de la masa se aplica a las reacciones químicas para explicar lo que pasa a nivel atómico durante una reacción, que cada átomo presente al inicio de la reacción sigue presente al finalizar la misma. (Asimov, 1984; Chang, 2002)</p> <p>Las construcciones de Lavoisier en la ley de la conservación de la masa, evidencia la introducción de las matemáticas en la elaboración del lenguaje en el que deberían expresarse las formulas químicas. (Gallego-Badillo, Gallego-Torres y Pérez-Miranda, 2009)</p>	<p>refiere a las cantidades. Además, el modelo establecido por el estudiante posiblemente pone de manifiesto que, esta ley se aplica para una reacción química, haciendo alusión a los componentes de la reacción. Aquí podemos ver una diferencia en cuanto al lenguaje usado por el estudiante, estos expresan (inicio y final de reacción) y en el modelo de la ciencia se habla de reactantes y productos. Aunque podemos suponer que guardan una similitud de significado en cuanto al contexto en el que se aplica, tendríamos que tener una descripción sobre qué es lo que el estudiante entiende como reactantes y productos para realizar un análisis más completo. A continuación resaltamos que, en el modelo del estudiante se asigna un lugar importante al componente matemático de la ley de la conservación de la masa, este se expresa desde un lenguaje muy coloquial, sin embargo, en él se ponen en evidencia este componente, que de acuerdo con el análisis histórico constituyó la piedra angular para la formulación de las leyes ponderales. Finalmente, el modelo de la ciencia explicita las interacciones que a nivel atómico o submicroscópica se llevan a cabo en la reacciones y que se deben tener en cuenta para una comprensión y aplicación adecuada de la ley de la conservación de la masa, esta interpretación de la ley no se ve reflejada en el modelo construido por el educando.</p>
---	--	---

Tabla No. 8: Modelos conceptuales v/s modelos mentales de “DG”.

Juan Reyes

Las concepciones iniciales sobre las leyes ponderales para este estudiante se centraron principalmente en explicaciones basadas en experiencias cotidianas, las categorías dan muestra de modelos verbales apoyados de algunos símbolos y en los cuales, las explicaciones se proscriben en el nivel macroscópico tanto en la fase iniciales como en la final, en la tabla No. 9 se expone el análisis comparativo entre los modelos de este estudiante y los modelos conceptuales.

Modelos mentales de los estudiantes	Modelos conceptuales	Análisis comparativo
<p>“1 de una misma reacción se pueden obtener diferentes productos, todo dependiendo de la cantidad de reactantes que hallan presentes en la reacción. Además de las condiciones presentes durante el proceso de reacción.” 811A-JR-F</p>	<p>La ley de las proporciones definidas: es una ley empírica basada en la observación de multitud de datos experimentales; según esta ley, porciones o muestras de las mismas sustancias, cualquiera que sea su procedencia están formadas de los mismos constituyentes y en las mismas proporciones o relación de peso. Como consecuencia, dos o más elementos se combinan para formar un compuesto, la proporción de los pesos de los elementos que reaccionan, tienen siempre un valor definido constante. (Asimov, 1984; Bascuñán, 1999; Gallego-Badillo, Gallego-Torres y Pérez-Miranda, 2009)</p>	<p>En cuanto a la ley de las proporciones definidas o constantes observamos que en el modelo del estudiante se expresan concepciones referidas a las cantidades de elementos que componen una sustancia, esto siempre, de manera muy similar al modelo construido por la ciencia, posiblemente en la concepción elaborada por el informante sobre esta ley, están presentes explicaciones en términos submicroscópicos, esto lo analizamos desde el apartado en el que el alumno expresa “Oxígeno que en diferentes cantidades”.</p> <p>Conviene subrayar que en el modelo del estudiante sobre la ley de las proporciones constantes se explica que los productos que se formen dependen de las cantidades de que se hallan presentes en los reactantes, en este sentido la concepción del estudiante es diferente y opuesta a la del modelo de la ciencia. Sin embargo, cuando se refieren a las condiciones presentes en la reacción hay un grado de similitud entre ambos modelos.</p>

Tabla No. 9: Modelos conceptuales v/s modelos mentales de “JR”.

Henry Agudelo

El estudiante Henry Agudelo al parecer trata de relacionar o encontrar cierta correspondencia entre sus explicaciones y los fenómenos que se le plantearon en la fase inicial de la intervención, en la etapa final procura explicitar los conceptos que sobre las leyes ponderales incorporo en su proceso de aprendizaje, para producir una explicación más elaborada de los fenómenos. A continuación, se explora el análisis de los modelos mentales formulados por este estudiante con los de los modelos conceptuales de la ciencia expuestos (ver tabla No. 10).

Modelos mentales de los estudiantes	Modelos conceptuales	Análisis comparativo
<p>“En la naturaleza se encuentran sustancias que están compuestas</p>	<p>Ley de las proporciones múltiples: esta no es una ley empírica, pues fue obtenida por Dalton como</p>	<p>Destaquemos primero que en ambos modelos se identifica un situación real para explicar la aplicación de las</p>

<p>por los mismos elementos químicos, en este caso en Monóxido de carbono y el Dióxido de carbono están compuestos por Oxígeno y carbono. Pero, estos dos elementos pueden formar compuestos en diferentes proporciones, según lo dice el químico John Dalton en su ley ponderable enunciada como "ley de las proporciones múltiples" 1011A-HA-F</p>	<p>consecuencia o deducción de su teoría atómica. La ley se refiere al caso de que dos elementos químicos forman varios compuestos. Por ejemplo: C y O forman los óxidos, CO (Monóxido de carbono) y CO₂ (Dióxido de carbono). Esta ley establece que si dos elementos forman diferentes compuestos los pesos de uno de ellos se combinan con una cantidad fija del otro, están entre si relacionados en números enteros sencillos. (Asimov, 1984; Bascuñán, 1999; Gallego-Badillo, Gallego-Torres y Pérez-Miranda, 2009)</p>	<p>teorías, al igual que se hace mención del personaje de la ciencia al que se le atribuye la formulación de esta ley (Dalton), esta última parte muestra evidencia que el modelo mental del estudiante reconoce elementos del enfoque histórico y epistemológico usado en la unidad didáctica. Por otro lado, tanto el modelo mental del estudiante como el modelo conceptual explicitan una formulación conceptual para la ley de las proporciones múltiples, esto deja ver que, el modelo del alumno se fundamenta estructuralmente en el modelo de la ciencia. Finalmente, los dos modelos analizados resaltan el elemento de las cantidades o proporciones que explican la ley, pero el modelo mental del informante adolece de una explicación más abstracta en cuanto a la teoría atómica y las relaciones de peso de los elementos que forman un compuesto.</p>
--	--	---

Tabla No. 10: Modelos conceptuales v/s modelos mentales de "HA".

Todas las interpretaciones obtenidas en este capítulo en las que articulamos nuestras inferencias con los postulados del marco teórico, constituyen la materia prima para la formulación de conclusiones orientadas por los objetivos de la investigación. En el siguiente capítulo expondremos nuestras deducciones sobre los resultados del estudio.

5. CONCLUSIONES

En el proceso aprendizaje de las ciencias muchos son los enfoques que se han formulado con el fin de ofrecerle a los estudiantes unas mejores alternativas en materia de experiencias educativas. Este estudio, orientado al análisis de la incidencia de la enseñanza de las leyes ponderales, desde una perspectiva histórica y epistemológica en la construcción de modelos por parte de los estudiantes de grado decimo, proporciona un enfoque que permite a los estudiantes encontrar un sentido y un significado de lo que han aprendido (Vilches y Gil, 2011; Gil et al., 2005; Osborne, Simon y Collins, 2003), esta característica de la enseñanza en términos históricos y epistemológicos la hemos aprovechado en nuestra investigación para examinar como incide en la construcción de modelos sobre las leyes ponderales en los estudiantes que constituyeron nuestro caso.

Este estudio, propone una estrategia de enseñanza de las leyes ponderales desde las perspectivas históricas y epistemológicas como alternativa frente a las dificultades que manifiestan los estudiantes al explicar algunos fenómenos químicos desde sus modelos. Al finalizar el estudio, concluimos que dicha propuesta de intervención se constituye en una herramienta para articular los modelos de la ciencia sobre las leyes ponderales y los modelos mentales de los estudiantes, además, permite el tratamientos de las concepciones que los estudiantes tienen sobre la química, en la medida en que la propuesta le permite a los alumnos acceder a las formas de construcción de los modelos de las química mediante una reconstrucción histórica y la contextualización de los conceptos a través del tratamiento de situaciones cotidianas.

En consecuencias, los educandos empiezan a construir una nueva visión o concepción de la química, en la cual los modelos mentales que estos estudiantes construyen fundamentados en los modelos de la ciencia son usados para comprender y explicar los fenómenos químicos.

De este modo, esta articulación de los modelos mentales de los estudiantes con los modelos de la ciencia, se hace evidente en los siguientes términos: Los estudiantes construyen modelos mentales en los que incorporan el lenguaje y algunos conceptos de los modelos de la química; los estudiantes manifiestan que con el enfoque histórico y epistemológico empiezan a tener otra visión de la química que va más allá de fórmulas y ecuaciones, una química en donde las formulas tienen un significado y utilidad práctica en un contexto dado; finalmente, los alumnos evidencian la inclusión y utilización de conceptos científicos en la explicación de fenómenos químicos que vivencian, y que se encuentran relacionados con las leyes ponderales.

Si se consideran, los objetivos formulados para una mejor comprensión del problema planteado, se exponen las conclusiones en términos de: analizar la incidencia de la enseñanza de las leyes ponderales desde las perspectivas históricas y epistemológicas, en la construcción de modelos mentales por parte de los estudiantes de grado décimo de la Institución Educativa San Antonio; y las dificultades que encuentran los estudiantes participantes del estudio para el aprendizaje de las leyes ponderales. Las formulaciones que en estos términos se desarrollen podrán constituir un una ruta de aprendizaje de las ciencias, en los cuales, se tome como referencia los factores de incidencia asociados al aprendizaje.

5.1. Descripción de los modelos mentales de los estudiantes:

En las fases iniciales del proceso de intervención los modelos de los estudiantes se circunscriben en interpretaciones basadas en experiencias cotidianas en donde prima el uso de los sentidos como herramienta para identificar y explicar las características de las sustancias, evidenciándose una falta de relación entre explicaciones y los modelos de la ciencia (actividades de la fase de exploración); a razón de esto, sus modelos iniciales se orientan en descripciones en términos macroscópicas de las sustancias en la mayoría de los casos, esto se constituye

como un nivel analógico del modelo (Adúriz-Bravo, 2012; Greca y Moreira, 1998). Aunque en el estado inicial se usan formulas químicas para representar las sustancias (principalmente el agua), en general se limitan a indicar su fórmula pero se observa una desarticulación de estas con las teorías científicas.

Cabe señalar que, las concepciones de las leyes ponderales de los estudiantes no se refieren a las propiedades submicroscópicas de las sustancias, es decir, no manifiestan una concepción de átomo, elemento, compuesto y molécula acorde a las teorías científicas, dicho esto, sus concepciones iniciales sobre las leyes ponderales solo hacen referencia de manera intuitiva a las cantidades de las sustancias en términos de peso, pero sin introducir los conceptos de la teoría atómica.

En cuanto a los modelos elaborados por los estudiantes en las fases finales de la intervención, después de analizar las unidades de significado

“En la vida cotidiana nos encontramos rodeados de productos industriales que siguen estas leyes de la naturaleza y que teniendo el conocimiento de ellas se pueden evitar muchas situaciones no deseadas o simplemente no ser ignorante ante ellas.”

80IA-JR-F

“La ley de proporciones múltiples o ley de Dalton, que fue publicada en 1803, casi que esta nos dice que cuando dos sustancias simples se combinan para formar uno más compuestos, se vinculan los pesos de los elementos para formar uno más compuesto.”

63IA-DG-F

“¿Cómo hacer para diferenciarlas? R/ = se pueden diferenciar por el color de la llama, por el efecto que causa al tiznar las ollas y en la estufa los quemadores se humedecen.”

47IB-AA-F

“¿Esto por qué? Pues ya sabrás, cuando no hay un lugar apropiado donde escasea el Oxígeno, el combustible se concentra y no se dispersa y sale como debe ser. Tal vez sea muy duro saber cuándo diferenciarlas, pero un solo cambio en el color de la llama del fogón, que normalmente se torna azul, cambia a amarilla.”

31IC-OV-F

“El empleado de la empresa de gas debe informar al joven en qué condiciones de instalación se encuentra los electrodomésticos, que a través del gas producen el Monóxido de carbono. Debe explicarle que la cantidad de Oxígeno influye en la combustión para que esta sea completa o incompleta.”

16ID-SM-F

“Ambas sustancias reciben el nombre de agua porque están compuestos por los mismos elementos en este caso Oxígeno (O) e hidrogeno (H) proporcionando así, similitudes en sus propiedades organolépticas.”

94IIA-HA-F

“La diferencia entre una sustancia y otra, producida a partir de la misma reacción dependen de la cantidad de elementos que se presenten en los productos. Es decir, el número de átomos presentes en la fórmula química.”

82IIB-CSA-F

Se encuentran que los constructos de los estudiantes posiblemente ponen en manifiesto la introducción de los nuevos conocimientos, aunque persisten las definiciones en donde se ponen en evidencia explicaciones que involucran experiencias cotidianas. Estas se encuentran quizás permeadas por los nuevos conocimientos, ya que, articulan a sus discursos elementos de los modelos científicos, esta articulación, muestra una fuerte conexión entre la teoría y la realidad, las cuales buscan una correspondencia en términos macroscópicos de las características de las sustancias.

Los modelos mentales que han elaborado los alumnos para la fase final sobre las leyes ponderales, muestran similitud conceptual con los modelos de la ciencia en cuanto al hecho que resaltan la importancia de las cantidades a la hora de diferenciar una sustancia de otra; de manera particular examinemos lo que sucede para cada una de la leyes ponderales, en los siguientes términos:

- A) Para la ley de la conservación de la masa identifican que esta ley se aplica para los mecanismos de reacción química y que en dicho proceso hay sustancias que aunque se transforman, sus pesos al inicio y al final deben

ser iguales, no hay claridad en el modelo de los estudiantes para esta ley, en que la relación de los pesos que se presentan en los reactivos y productos de una reacción obedecen a una correspondencia entre los pesos atómicos de los elementos que los conforman, por tanto podríamos concluir que la concepción de esta ley para los informantes no expresa las relaciones submicroscópicas de las sustancias como lo hace el modelo científico.

- B) En la ley de las proporciones definidas: los modelos elaborados por los estudiantes muestran una ambigüedad en cuanto al significado que esta tiene, al referirse a la ley de la proporciones definidas, explicitan que una sustancia siempre tendrá los mismos componentes independientemente de las condiciones que se obtengan, pero exponen que, depende de las cantidades de reactantes que hayan presentes en la reacción, lo cual no es una explicación acorde al modelo de la ciencia.
- C) Ley de las proporciones múltiples: para interpretar este apartado, lo primero que debemos tener en cuenta es que para la comprensión de esta ley se debe tener presente la teoría atómica de Dalton, entonces, aunque los estudiantes alcanzaron a construir modelos basados en su interpretación de esta ley, dicha interpretación, pone de manifiesto que existen sustancias formadas por los mismos elementos que varían en cuanto a las cantidades, pero esas cantidades a los que los estudiantes se refieren no describen una concepción sobre la relación de los pesos de los elementos que conforman el compuesto o la molécula.

En lo que corresponde a las características generales de los modelos elaborados por los estudiantes, estos se expresan generalmente en términos verbales, ya sea de forma oral o escrita, en ocasiones utilizan fórmulas para apoyar la verbalidad y para enfatizar en alguna propiedad submicroscópica, el nivel explicativo de dicho modelo se instaura en términos analógicos, no se percibe en el modelo un carácter proposicional predictivo, relacionan sus concepciones con la realidad haciendo uso de propiedades macroscópicas que perciben con sus sentidos,

utilizan los modelos para comprender la realidad y explicarla con ayuda de analogías o ejemplos.

Incidencia del enfoque histórico y epistemológico: como se ha mostrado en otros estudios, tanto las perspectivas de modelización, como los estudios basados en un enfoque histórico y epistemológico han conducido a que los alumnos comprendan las teorías científicas como un tipo de modelo diferente al suyo, como otra forma de ver el mundo, es posible enseñar a los alumnos a construir modelos consistentes desde las teorías científicas, para ello dichos estudios han orientado a los estudiantes a hacer razonamientos conceptuales más coherentes mostrándoles las formas como los científicos generan sus propias representaciones. (Furio y Vilches, 1997; Niaz, 2001; Osborne, Simon y Collins, 2003; Gil *et al.*, 2005; Raviolo, 2007).

Los resultados obtenidos en el estudio ponen en evidencia que el enfoque escogido incide en la comprensión de los estudiantes sobre los fenómenos naturales, en la medida en que estos incorporan a sus concepciones las teorías científicas para tener una comprensión fundamentada y más amplia. De otro lado, el estudio fue de vital importancia ya que permitió identificar mediante las categorías formuladas los modelos mentales elaborados por los estudiantes, además que, las representaciones mentales son importantes a la hora de construir y usar la ciencia, pues estos permiten tener una idea del grado o nivel de comprensión y representación mental de los constructos teóricos por parte de los estudiantes. De este modo, las concepciones alternativas de los estudiantes no son aisladas, ilógicas o incoherentes, pues, los alumnos construyen modelos actuales simples de los fenómenos químicos que les sirven para entender el mundo que los rodea (Greca y Moreira, 1998; Adúriz-Bravo, 2012).

Dificultades en el proceso de modelización: en este punto de las conclusiones se tratará de poner en evidencia las dificultades que mostraron los estudiantes durante el proceso de modelización de las leyes ponderales. En términos de la opinión de los estudiantes, el lenguaje en el que se expresan las teorías científicas constituye un dificultad en la medida en que no hay un grado de familiarización

con dichos términos, además el lenguaje de la ciencia se presenta para los jóvenes como extraño, posiblemente podría generar un imagen de dificultad en su aprendizaje. Ahora, al realizar una comparación entre los modelos de los estudiantes y los modelos de la ciencia sobre las leyes ponderales, se encontró que hay una dificultad en la comprensión de la naturaleza atómica de la materia, esto se manifestó, ya que en las unidades de análisis los estudiantes no articulaban bien los términos elemento, átomo, molécula y compuesto en su discurso, además, cuando estos hacen referencia a las sustancias en términos de composición, sus explicaciones adolecen de una estructura sub microscópica clara.

5.2. Dificultades presentadas durante el desarrollo de la investigación

En el desarrollo de este estudio, se encontraron una serie de eventos que de una u otra manera se convirtieron en dificultades en el proceso de investigación. Por ejemplo, una de las primeras dificultades estuvo relacionada con el hecho que la intervención fue puesta en práctica en la etapa de finalización del año lectivo escolar (noviembre del año 2012), este suceso pudo haber influido en los estados de ánimo y disposición de los estudiantes a la hora de participar de manera activa de las actividades programadas. Incluso, los estudiantes mostraban poca apropiación en uno de los temas prerequisite para el óptimo logro de los propósitos trazados en la unidad, este tópico es “teoría atómica” de la materia o naturaleza corpuscular de la materia. Así, se pudo notar que en los registros de grabaciones de la socialización del cuestionario ¿y el agua cuál es?, el número de intervenciones de los sujetos informantes con relación al resto del grupo fue mínimo, lo cual no permitió obtener mayor información de esta observación para contrastar con las unidades de análisis de los cuestionarios.

Sin embargo cabe resaltar, que al avanzar en el proceso de intervención los estudiantes empezaron a mostrar más interés y motivación en el desarrollo de las actividades.

Otra circunstancia que se presentó como una dificultad, fue el hecho que algunas subcategorías durante el análisis no se identificaron en la fase inicial o final para algunos estudiantes, esto se exhibió principalmente en la subcategoría relación jerárquica (IB) y la subcategoría obstáculos en el proceso de modelización (VB).

Esto pudo haber sucedido, ya que algunas preguntas en los cuestionarios y en las entrevistas no estaban claramente orientadas para que los estudiantes en sus discursos evidenciaran las subcategorías ya mencionadas. Lo anterior lleva a pensar en un futuro a incluir nuevos cuestionarios o estrategias diferentes que permitan obtener información suficiente para cada una de las categorías.

Se tuvo la intención de utilizar el programa AQUAD para el análisis de los datos recolectados, pero dado la disponibilidad del tiempo y la inexperiencia en el manejo continuo de esta herramienta, tuvimos que optar por el análisis de contenido manual, esperamos en un trabajo futuro poder aplicar este software.

Finalmente, cuando se desarrollaron estudios sobre los modelos mentales de los estudiantes en el aprendizaje de las ciencias, no se tuvo en cuenta que para la interpretación de la información. se supuso que los vocablos y palabras utilizadas por los estudiantes estaban referidas a los significados, que en el lenguaje se le ha asignado a dichos términos, es el caso, que cuando un estudiante utiliza la palabra sustancia, damos por sentado que este está haciendo alusión al tipo de materia que constituye un cuerpo, sin embargo, dentro de las concepciones de modelos mentales, al corresponder este a una representación interna que el estudiante hace de dicho vocablo, este puede estarle asignando otro significado. Como por ejemplo ligarlo con el concepto de elemento o compuesto.

5.3. Perspectivas futuras de investigación

Al finalizar este estudio, se encontró que se abre un abanico de posibilidades para la implementación de otras investigaciones en donde el enfoque histórico y epistemológico permite examinar nuevas rutas en la enseñanza y aprendizaje de

las ciencias. En este marco, se deben considerar las perspectivas futuras desde los siguientes aspectos:

- Estudios relacionados con los modelos mentales elaborados por los estudiantes sobre las características submicroscópicas de la materia, como elemento de la naturaleza corpuscular de la materia y enfocadas desde la perspectiva histórica y epistemológica. Esto debido a que, en los modelos mentales expresados por los estudiantes encontramos este elemento como una dificultad.
- Indagar sobre los cambios que se presentan en los modelos mentales de los estudiantes, con relación a la dualidad que hay entre los compuestos estequiométricos y los no estequiométricos o compuestos Bertholidos en un estudio longitudinal, que permita identificar de qué manera estos modelos mentales van cambiando.
- Determinar si los modelos conceptuales propios de la química inciden en el aprendizaje de esta ciencia por parte de los estudiantes, así como explorar si los estudiantes articulan dichos modelos a sus representaciones mentales.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adúriz-Bravo, A. y Izquierdo-Aymerich. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*. Recuperado el 30 de marzo de 2013 de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S185066662009000100004&script=sci_arttext

Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación en química. *Educación Química*, 23 (E2), 248-256.

Arnal, J., Del Rincón, D., y Latorre, A. (1992). *Investigación Educativa: fundamentos y metodología*. Barcelona: Lapor.

Asimov, I. (1975). *Breve historia de la química*. Madrid: Closas-Orcoyan.

Asimov, I. (1984). *Momentos estelares de la ciencia*. Madrid: Graficas Stella.

Bardin, L. (2002). *Análisis de Contenido*. 3ª edición. Madrid: Akal, S.A.

Bermúdez, G. y Longhi, A. (2011). Niveles de comprensión de equilibrio químico en estudiantes universitarios a partir de diferentes estrategias didácticas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), 264-288.

Bulte, A., Westbroek, H., De Jong, O., and Pilot, A. (2007). A research approach to designing chemistry education using authentic practice as contexts. *International Journal of Science Education*, 28(9), 1063-1086.

Bunge, M. (2007). *La ciencia, su método y su filosofía*. Bogotá: Fundación Promotora de Cultura.

Cardellini, L. (2012). Chemistry: ¿Why the subject is difficult?. *Educación en Química*, 23 (E2), 305-310.

Chang, R. y College, W. (2002). *Química (7ª)*. Bogotá: McGraw-Hill.

Chaparro, E., López, J., Villalba, M. y García, A. (2006). Representaciones epistemológicas cognitivas del concepto ácido-base. *Investigación e Innovación en Enseñanza de las Ciencias*, 1(1). 60-68.

De la Herrán, A., Hashimoto, E. y Machado, E. (2005). *Investigar en educación fundamentos, aplicación y perspectivas*. Madrid: Dilex, S.L.

De Jong, K.S. y Taber. (2006). Teaching and learning the many faces of chemistry. En: S.K. Abell y N.G Lederman., (Eds.), *Handbook of Research on Science Education*, pp. 631-652. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Evans, K., Yaron, D. y Leinhardt, G. (2008). Learning stochiometry: a comparison of text and multimedia formats. *Chemical Education Research and Practice*, 9, 208-218.

Furio, C. y Dominguez, C. (2007). Problemas históricos y dificultades de los estudiantes en la conceptualización de sustancia y compuesto químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(2), 241-258.

Galagovsky, L. y Izquierdo-Aymerich, M. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. Concepto de modelo didáctico analógico. *Investigación Didáctica*, 19 (29), 231-242.

Gallego-Badillo, R. (2004). Un concepto epistemológico de modelo para la didáctica de las ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(3), 301-319.

Gallego-Badillo, R., Gallego-Torres, A. y Pérez-Miranda, R. (2009). Una aproximación histórica y epistemológica a las leyes fundamentales de la química. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8(1), 359-375.

Gallego-Badillo, R., Gallego-Torres, A. y Pérez-Miranda, R. (2012). El congreso de Karlsruhe. Los inicios de una comunidad científica. *Educación Química*, 23(2), 280-289.

Giere, R. (1995). The skeptical perspective: science without laws of nature. En Weinert, F. (Eds.), *Laws of Nature: Essays on the Philosophical, Scientific and Historical*, pp. 121-138. Berlin: Walter de Gruyter & Co.

Giere, R. (1999). *Science without Laws*. Chicago: University of Chicago Press.

Giere, R. (2001). Agent based science teaching. *Éndoxa: Series filosóficas*, 14, 35-39.

Giere, R. (2004). Models and modelling route to more authentic science. *International Journal Science Education*, 2, 115-130.

Giere, R. (2009). Science perspective: behind the stage door. *Studies in History of Philosophy of Science*, 40, 221-223.

Gilbert, J. y Boulter, C. (1998). Learning science through models and modelling. En B. Fraser y K. Tobin. (Eds.), *International Handbook of Science Education*. pp, 53-66. Gran Bretaña: acid-free paper.

Gilbert, J. (2004). Models and modelling: routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2 (2), 115-130.

Gil, D., Macedo, B., Martínez, J., Silfredo, C., Valdez, P., et al. (2005). *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación de jóvenes entre 15-18 años*. Chile: Andros Impresores.

Greca, I.M. y Moreira, M.A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 289-203.

Hernández, R., Fernández, C. y Batista, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill.

Johnson-Laird, P.N. (1980). Models in cognitive science. *Cognitive Science*, 4, 71-115.

Jorba, J. y Sanmartí, J. (1994). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua*. Barcelona: MEC.

Klimosvky, G. (1994). *Las desventuras del conocimiento*. Buenos aires: A-Z editora.

Lawson, A. S. (1994). Uso de los ciclos de aprendizaje para la enseñanza de destrezas de razonamiento científico y de sistemas conceptuales. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 165-187.

Martínez-Freire, P. (1997). El giro cognitivo en la filosofía de la ciencia. *Revista de Filosofía*, 10(17), 105-122.

Martínez, M. (1998). *La investigación cualitativa etnográfica en educación: manual teórico práctico*. Tercera edición. México: Trillas.

Montañez, G. y Delgado, O. (1998). Espacio, territorio y región: Conceptos básicos para un proyecto nacional. *Cuadernos de Geografía, Universidad Nacional de Colombia*. Recuperado el 30 de marzo de 2012 de http://www.geolatinam.com/files/Montanez_y_Delgado_1998.pdf.

Moreira, M.A., Greca, I.M. y Rodríguez, M.L. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. *Revista Brasileira de Investigacao em Educacao em Ciencias*, 2 (3), 36-56.

Niaz, M. (2001). ¿How import are the laws of definite and teaching multiple proportions in chemistry and teaching chemistry? – A history and philosophy of science perspective. *Science & Education*, 10, 243-266.

Niaz, M. y Montes, L. (2012). Understanding stoichiometry: Towards a history and philosophy of chemistry. *Educación en Química*, 23(E2), 290-297.

Oh, P. S. y Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: an overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130,

Osborne, J., Simon, S. y Collins, S. (2003). Attitudes towards science: a review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 1. 25(9), 1049-1079.

Pulgarín, R., Bedoya, C., Márquez, J., Giraldo, D., Quintero, D., Ruiz, M., et al. (2008). Hacia el desarrollo de una actitud científica en la escuela desde la enseñanza de las ciencias. L.A.R.B. (Gobernador), *Memorias Del Diploma "La Investigación Del Territorio Como Estrategia De Formación En Ciencias"*, 29-32. Medellín: Artes y letras.

Real Academia Española (2010). *Diccionario de la lengua española* (23.^a Ed). Recuperado el 30 de marzo de 2013 de <http://www.rae.es/rae/gestores/gespub000019.nsf/voTodosporId/D55F5BFB05D63980C1257164003F02E5?OpenDocument&i=2>

Raviolo, A. (2007). Implicaciones didácticas en el estudio histórico sobre conceptos de equilibrio químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 25 (3), 415-422.

Rodríguez, L. y Moreira, M. (1999). Modelos mentales de la estructura y funcionamiento de la célula: dos estudios de casos. *Investigações em Ensino de Ciências*, 4 (2), 121-160.

Rodríguez, L., Marrero, J. y Moreira, M. (2001). La teoría de los modelos mentales de Johnson Laird y sus principios: una aplicación con modelos mentales de célula en estudiantes del curso de orientación universitaria. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6 (3), 245-268.

Rodríguez, L. y Moreira, M. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. *Investigações em Ensino de Ciências*, 2 (3), 37-55.

Rojas, Y. (2004). Dificultades en la modelización didáctica del modelo biológico de la flor, un estudio de caso en la licenciatura de educación básica. (Tesis de maestría). Facultad de educación. Medellín: Universidad de Antioquia.

Salkind, N. (1999). *Metodología de Investigación*. México: Prentice Hall.

Sandoval, C. (2002). *Investigación cualitativa. En: Especialización en teoría, métodos y técnicas de investigación social*. Bogotá: ARFO.

Shulman, L. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Education Research*, 15 (2), 4-14.

Stake, R. (2007). *Investigación con estudio de caso*. 4ª Edición. España: Morata.

Taylor, S. y Bogdan, R. (1987). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. España: Paidós.

Vilches, A. y Gil, D. (2011). El papel de la química y su enseñanza en la construcción de un futuro sostenible. *Educación en Química*, 22 (2), 2-15.

Vosniadou, S. y Brewer, W.F. (1992). Mental models of the Earth: a study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.

Yuní, J. y Urbano, C. (2005). *Mapas y herramientas para conocer la escuela: investigación etnográfica - investigación acción*. 3ª Edición. Argentina: Barajas.

Zamora, J. (2000). El naturalismo científico de Ronald Giere y Philip Kitcher. *Revista de Filosofía*, 13 (24), 169-190.