

**APORTES A LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA A PARTIR DE UN ESTUDIO
HISTÓRICO FILOSÓFICO DE LA EXPERIMENTACIÓN ASOCIADA A LA
COMBUSTIÓN PARA PROFESORES EN FORMACIÓN INICIAL**

**HENRY GIOVANY CABRERA CASTILLO, Mg.
Código: 1203696**

**DOCTORADO INTERINSTITUCIONAL EN EDUCACIÓN
Código: 9405**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
INSTITUTO DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
ÁREA DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
SANTIAGO DE CALI
2016**

**APORTES A LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA PARA PROFESORES EN
FORMACIÓN INICIAL A PARTIR DE UN ESTUDIO HISTÓRICO FILOSÓFICO
DE LA EXPERIMENTACIÓN ASOCIADA A LA COMBUSTIÓN**

Trabajo de investigación realizado por

HENRY GIOVANY CABRERA CASTILLO, Mg.

Para optar al grado académico de Doctor en Educación de la Universidad del Valle

Director de tesis

EDWIN GERMÁN GARCÍA, PhD.

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
INSTITUTO DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
ÁREA DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
DOCTORADO INTERINSTITUCIONAL EN EDUCACIÓN
SANTIAGO DE CALI
2016**

**APORTES A LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA PARA PROFESORES EN
FORMACIÓN INICIAL A PARTIR DE UN ESTUDIO HISTÓRICO FILOSÓFICO
DE LA EXPERIMENTACIÓN ASOCIADA A LA COMBUSTIÓN**

Trabajo de investigación realizado por

HENRY GIOVANY CABRERA CASTILLO, Mg.

Para optar al grado académico de Doctor en Educación de la Universidad del Valle

Director de tesis: EDWIN GERMÁN GARCÍA, PhD.

Comisión evaluadora: MARIO QUINTANILLA GATICA, PhD.
Pontificia Universidad Católica de Chile

ÁLVARO GARCÍA MARTÍNEZ, PhD.
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

GERMÁN GUERRERO PINO, PhD.
Universidad del Valle

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
INSTITUTO DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
ÁREA DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
DOCTORADO INTERINSTITUCIONAL EN EDUCACIÓN
SANTIAGO DE CALI
2016**

Esta Tesis Doctoral fue posible gracias al apoyo de la comisión de estudios otorgada por la Universidad del Valle en el marco del Programa de Semilleros Docentes y a la beca de doctorados nacionales concedida por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología Innovación (COLCIENCIAS).

DEDICATORIA

Los hombres y mujeres que fortalezcan la capacidad de asombro, estimulen la creatividad, cuestionen el conocimiento y las experiencias, socialicen en los colectivos y sobre todo se complementen con su esencia lograrán transformar el mundo.

AGRADECIMIENTOS

La investigación que se presenta a continuación fue realizada por medio de la ayuda incondicional de mi MADRE DIVINA.

A mi amada esposa MARÍA ANGÉLICA MEJÍA CÁCERES le agradezco desde lo más profundo de mi corazón por la paciencia que tuvo para soportar todos estos años. Como siempre le digo es Mi Inspiración porque conjuga la belleza pintada en su sonrisa, la comprensión para tolerar mi indecisión, la mística que hace parte de su existencia y el amor que me entregas todos los días con tu mirada, tus besos y tus caricias.

Reconozco la importancia de las oraciones, los consejos, las enseñanzas, la tolerancia y la disposición de mi mamá MARIA TRINIDAD CASTILLO ROJAS, mi abuela MARTHA ROJAS CABRERA y mi papá RUBEN DARIO SANCHEZ SANCHEZ, así mismo, destaco el aprecio que me ofrecen mis suegros ABIGAIL CÁCERES y ALFONSO MEJÍA.

Subrayo el apoyo del profesor EDWIN GERMÁN GARCÍA porque más que mi director de tesis se transformó en un amigo que orientó y debatió cada una de las ideas que emergían y que estructuraron este documento, de igual manera, a su esposa MARTHA LUCIA CASTILLO le agradezco por escuchar mis problemáticas académicas y personales.

Al profesor MARIO QUINTANILLA GATICA muchas gracias por guiarme en la pasantía doctoral, así como evaluar esta investigación junto con los profesores ÁLVARO GARCÍA y GERMÁN GUERRERO.

A mi padrino, fiador y amigo ROBINSON VIAFARA ORTÍZ infinitas gracias por colaborar y escuchar en varias oportunidades mis ideas.

A los profesores del Área de Educación en Ciencias y Tecnología gratitud por facilitar el proceso de comisión de estudio.

Finalmente, extendiendo mis agradecimientos a Carol Joglar, Carla Hernández, Luigi Cuellar, Martín Labarca, Veronica Astroza, Rocio del Pilar Moreno y todas aquellas personas que de una u otra manera hicieron parte al inicio, en el transcurso y al final de este arduo pero gratificante proceso académico.

CONTENIDO

RESUMEN.....	15
INTRODUCCIÓN.....	16
1. ANTECEDENTES	19
1.1. Conocimiento de la química: a propósito de su enseñanza	19
1.2. La combustión como objeto de estudio educativo	26
1.2.1. Concepciones y explicaciones de los estudiantes sobre la combustión.....	27
1.2.2. Investigaciones encaminadas hacia la enseñanza de la combustión.....	29
1.2.3. Uso de la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza de la combustión	30
1.3. La historia y la filosofía de las ciencias en la enseñanza de las ciencias naturales	31
2. JUSTIFICACIÓN	35
3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	41
3.1. Preguntas de investigación	41
3.2. Objetivos	41
3.2.1. Objetivo general	41
3.2.2. Objetivos específicos.....	41
4. MARCO TEÓRICO	42
4.1. Enseñar y aprender ciencias en la actualidad	42
4.2. Retos para los profesores en formación inicial en ciencias naturales	52
4.2.1. El conocimiento científico en los futuros profesores de ciencias.....	53
4.2.2. La explicación como fuente de información de los futuros profesores de ciencias	54
4.3. La combustión como objeto de enseñanza y aprendizaje en la formación de futuros profesores de ciencias.....	56
4.4. La Historia y la Filosofía de la experimentación y su relación con la enseñanza de las ciencias	57
4. METODOLOGÍA	62
5.1. Orientaciones teóricas de la metodología.....	62
5.1.1. La metodología cualitativa de enfoque interpretativo	62
5.2. Contexto de la investigación	63
5.2.1. Los Textos Científico Históricos (<i>TCH</i>)	63
5.2.2. Participantes del estudio.....	66
5.3. Descripción del proceso de investigación	68

4.3.1.	Etapa 1. Fundamentación Teórica	70
4.3.2.	Etapa 2. Presentación y sustentación de proyecto de tesis	70
4.3.3.	Etapa 3. Análisis histórico crítico de los <i>TCH</i>	70
4.3.4.	Etapa 4. Elaboración de cuestionario	71
4.3.5.	Etapa 5. Aplicación de cuestionario	73
4.3.6.	Etapa 6. Incorporación de la información de los cuestionarios en el software Atlas.Ti 73	
4.3.7.	Etapa 7. Triangulación metodológica dentro del método.....	73
4.3.8.	Etapa 8. Diseño de una propuesta programática alterna para la enseñanza de la combustión	74
4.3.9.	Etapa 9. Conclusiones	74
5.4.	Instrumentos para recolectar datos	74
5.5.	Plan de procesamiento de análisis de los datos	75
5.5.1.	Procesamiento de análisis de los TCH	75
5.5.2.	Procesamiento de análisis de los Cuestionarios	76
5.5.2.1.	Pre-análisis	77
5.5.2.2.	Explotación del material.....	78
5.5.2.3.	Tratamiento e interpretación de los resultados obtenidos	79
5.6.	Criterio de rigor científico considerados en esta tesis	79
5.6.1.	Validez	79
5.6.2.	Fiabilidad.....	80
5.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	81
6.1.	Tres episodios históricos en la experimentación asociada a la combustión	81
6.1.1.	Episodio 1: La combustión como acción mecánica	82
6.1.2.	Episodio 2: Naturaleza de la combustión	83
6.1.3.	Episodio 3: Establecimiento de relaciones y nuevos retos	93
6.2.	Análisis de los episodios históricos.....	110
6.3.	Explicaciones dadas por los profesores en formación inicial en ciencias naturales.....	127
6.3.1.	Pre-análisis	127
6.3.2.	Explotación del material.....	128
6.3.2.1.	Desfragmentación en unidad (es) de análisis	129
6.3.2.1.1.	Codificación de los datos	130

6.3.2.1.2.	Categorización de los datos.....	134
6.3.2.1.2.1.	Descripción de las categorías	134
6.3.2.1.2.1.1.	Categoría “conocimiento”	134
6.3.2.1.2.1.2.	Categoría “lenguaje”	135
6.3.2.1.2.1.3.	Categoría “experiencia”	136
6.3.3.	Tratamiento e interpretación de los resultados.....	139
6.3.3.1.	Ideas de los <i>PFICN</i> acerca de la categoría Conocimiento.....	139
6.3.3.1.1.	Ideas de los <i>PFICN</i> acerca de la subcategoría Conocimiento Científico	141
6.3.3.1.1.1.	Modificación (CMo)	141
6.3.3.1.1.2.	Transmutación (CTr).....	142
6.3.3.1.1.3.	Reacción Química (CRxQ)	145
6.3.3.1.2.	Ideas de los <i>PFICN</i> acerca de la subcategoría Conocimiento Cotidiano	148
6.3.3.1.2.1.	Enunciado Personal (CEP).....	148
6.3.3.2.	Ideas de los <i>PFICN</i> acerca de la categoría Experiencia	149
6.3.3.2.1.	Ideas de los <i>PFICN</i> acerca de la subcategoría Descripción experimental	150
6.3.3.2.1.1.	Reconstrucción corta de la experiencia (EDE1).....	150
6.3.3.2.1.2.	Énfasis en el procedimiento experimental (EDE2)	150
6.3.3.2.2.	Ideas de los <i>PFICN</i> acerca de la subcategoría Uso instrumental	152
6.3.3.2.2.1.	Incluye instrumentos en sus experiencias (EUI1)	152
6.3.3.2.2.2.	Describe el funcionamiento de instrumentos (EUI2)	152
6.3.3.2.3.	Ideas de los <i>PFICN</i> acerca de la subcategoría Experiencias Imaginativas	154
6.3.3.2.3.1.	Imagina lo que ocurre en un experimento (EI).....	154
6.3.3.3.	Ideas de los <i>PFICN</i> acerca de la categoría Lenguaje	156
6.3.3.3.1.	Ideas de los <i>PFICN</i> acerca de la subcategoría Lenguaje Verbal	156
6.3.3.3.1.1.	Término químico (LV)	156
6.3.3.3.2.	Ideas de los <i>PFICN</i> acerca de la subcategoría Lenguaje Gráfico.....	160
6.3.3.3.2.1.	Iconemas químicos (LG)	160
6.3.3.3.3.	Ideas de los <i>PFICN</i> acerca de la subcategoría Lenguaje De Fórmulas	161
6.3.3.3.3.1.	Ecuación química (LF1).....	161
6.3.3.3.3.2.	Símbolo químico (LF2).....	162
6.3.3.3.4.	Ideas de los <i>PFICN</i> acerca de la subcategoría Lenguaje Cotidiano	163
6.3.3.3.4.1.	Término cotidiano (LC).....	163

6.4. Triangulación entre el análisis histórico crítico y las explicaciones de los profesores en formación inicial en ciencias naturales	165
6.4.1. Aproximación histórica	165
6.4.2. Presencia y ausencia de conocimiento químico	166
6.4.3. Ausencia de pensamiento experimental	167
6.4.4. Desarticulación del lenguaje	168
7. DISEÑO DE UNA PROPUESTA PROGRAMÁTICA ALTERNA PARA LA ENSEÑANZA DE LA COMBUSTIÓN	170
7.1. Objetivos o finalidades educativas	172
7.2. Núcleos temáticos	173
7.3. Criterios para conectar con otros conocimientos	173
7.4. Procesos de justificación o procesos epistemológicos	174
7.4.1. Emisión de llama	176
7.4.1.1. Importancia y necesidad del oxígeno y del material combustible	176
7.4.1.2. Papel del fuego/llama	179
7.4.1.3. Productos obtenidos	181
7.4.1.4. Función de la chispa	183
7.4.2. Aislamiento de los gases	184
7.4.2.1. Recolección de gases	184
7.4.2.2. Características de los gases	186
7.4.3. Discrepancia entre la masa de los metales y sus productos	188
7.4.3.1. Combustión lenta o calcinación de los metales	188
7.4.3.2. Reducción de óxidos metálicos	190
8. CONCLUSIONES	193
8.1. Acerca del estudio histórico filosófico de la experimentación	193
8.2. Acerca de las explicaciones de los profesores en formación inicial en ciencias naturales ..	194
8.3. Acerca de la metodología de investigación	196
8.4. Acerca del diseño de una propuesta programática alterna para la enseñanza de la química	197
8.5. Aportes relevantes para la línea de investigación	198
8.6. Perspectivas para investigaciones futuras	199
LISTA DE REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	200
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. LISTA DE TEXTOS CIENTÍFICO HISTÓRICOS ANALIZADOS	64
TABLA 2. CÓDIGOS ASIGNADOS A LOS PARTICIPANTES	68
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DE LAS PREGUNTAS PARA EL CUESTIONARIO	72
TABLA 4. TÉRMINOS QUÍMICOS IDENTIFICADOS EN CITAS TEXTUALES DE LOS TCH	123
TABLA 5. EJEMPLO DE DIFERENTES UNIDADES DE ANÁLISIS IDENTIFICADOS.....	130
TABLA 6. RESULTADOS DE LA CODIFICACIÓN ABIERTA DE LAS UNIDADES DE ANÁLISIS	132
TABLA 7. RESULTADOS DE LA CODIFICACIÓN AXIAL DE LAS UNIDADES DE ANÁLISIS	133
TABLA 8. COMPILADO DE LOS PFICN Y LOS CÓDIGOS, SUBCATEGORÍAS Y CATEGORÍAS IDENTIFICADAS	140

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. INTERACCIÓN DE LAS CATEGORÍAS CONOCIMIENTO, EXPERIENCIA Y LENGUAJE EN LA CONSTRUCCIÓN DE SIGNIFICADOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	44
FIGURA 2. NIVELES DEL LENGUAJE QUÍMICO SEGÚN JACOB (2007). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	47
FIGURA 3. LOS TRES ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL EXPERIMENTO SEGÚN PICKERING. FUENTE: GARCÍA-MARTÍNEZ (2009)	59
FIGURA 4. RELACIÓN ENTRE LAS ETAPAS DEL DISEÑO METODOLÓGICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	69
FIGURA 5. TRIANGULACIÓN METODOLÓGICA DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LOS TCH Y CUESTIONARIO	74
FIGURA 6. PROCESO DE ANÁLISIS DE LOS DATOS DEL CUESTIONARIO BASADO EN BARDIN (2002), HERNÁNDEZ, FERNÁNDEZ-COLLADO, & BAPTISTA (2008) Y CAMACHO (2010)	77
FIGURA 7. EL ANÁLISIS, LA SUSTITUCIÓN Y LA SÍNTESIS COMO TRES PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN DE LA QUÍMICA	111
FIGURA 8. TRES EPISODIOS HISTÓRICOS ASOCIADOS A LA COMBUSTIÓN SINCRONIZADOS CON EL ANÁLISIS QUÍMICO.....	112
FIGURA 9. ACCIONES REALIZADAS EN LA FASE DEL PRE-ANÁLISIS	128
FIGURA 10. ACCIONES REALIZADAS EN LA FASE DE EXPLOTACIÓN DEL MATERIAL.....	129
FIGURA 11. UNIDAD DE ANÁLISIS SELECCIONADA.....	129
FIGURA 12. CATEGORÍAS, SUBCATEGORÍAS Y CÓDIGOS IDENTIFICADOS EN LAS EXPLICACIONES DE LOS PARTICIPANTES.....	138
FIGURA 13. VINCULACIÓN ENTRE ALGUNAS UDA ACERCA DEL CÓDIGO MODIFICACIÓN	143
FIGURA 14. VINCULACIÓN ENTRE ALGUNAS UDA ACERCA DEL CÓDIGO TRANSMUTACIÓN.....	144
FIGURA 15. VINCULACIÓN ENTRE ALGUNAS CITAS (UNIDADES DE ANÁLISIS) ACERCA DEL CÓDIGO REACCIÓN QUÍMICA	147
FIGURA 16. VINCULACIÓN ENTRE ALGUNAS CITAS (UNIDADES DE ANÁLISIS) ACERCA DEL CÓDIGO ENUNCIADO PERSONAL	148
FIGURA 17. INTERACCIÓN ENTRE ALGUNAS UDA ACERCA DE LOS CÓDIGOS RECONSTRUCCIÓN CORTA DE LA EXPERIENCIA Y ÉNFASIS EN EL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	151
FIGURA 18. INTERACCIÓN ENTRE ALGUNAS UDA ACERCA DE LOS CÓDIGOS INCLUYE INSTRUMENTOS/MATERIALES EN SUS EXPERIENCIAS Y DESCRIBE EL FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTOS/MATERIALES.....	153
FIGURA 19. VINCULACIÓN ENTRE ALGUNAS UDA ACERCA DEL CÓDIGO IMAGINA LO QUE OCURRE EN UN EXPERIMENTO	155
FIGURA 20. UDA ACERCA DEL CÓDIGO TÉRMINO QUÍMICO.....	159
FIGURA 21. VINCULACIÓN ENTRE ALGUNAS CITAS (UNIDADES DE ANÁLISIS) ACERCA DEL CÓDIGO ICONEMA QUÍMICO	160
FIGURA 22. VINCULACIÓN ENTRE ALGUNAS CITAS (UNIDADES DE ANÁLISIS) ACERCA DEL SUBCATEGORÍA DE FÓRMULAS	163
FIGURA 23. VINCULACIÓN ENTRE ALGUNAS UDA ACERCA DEL CÓDIGO TÉRMINO COTIDIANO	164

LISTA DE IMÁGENES

IMAGEN 1. INSTRUMENTOS UTILIZADOS POR MAYOW. FUENTE: TOMADA DE MAYOW (1674)	92
IMAGEN 2. INSTRUMENTOS UTILIZADOS POR SCHEELE. FUENTE: TOMADA DE SCHEELE (1780)	94
IMAGEN 3. INSTRUMENTOS UTILIZADOS POR CAVENDISH. FUENTE: TOMADA DE CAVENDISH (1766)	97
IMAGEN 4. INSTRUMENTOS UTILIZADOS POR LAVOISIER. FUENTE: TOMADA DE LAVOISIER (1982)	100
IMAGEN 5. A. RETORTA REPRESENTADA POR LAVOISIER (1774, p. 61). B. RETORTA ACTUAL. FUENTE: TOMADA DE HTTP://CHEMISTRY.ABOUT.COM	104
IMAGEN 6. MONTAJE USADO POR LAVOISIER PARA CALENTAR MERCURIO. FUENTE: TOMADO DE CABRERA & QUINTANILLA (2014).....	104
IMAGEN 7. TABLA DE LAS SUSTANCIAS SIMPLES DE LAVOISIER. FUENTE: TOMADA DE (LAVOISIER, 1798, pp. 168–169)	116
IMAGEN 8. INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR GASES PARA A) COLECTOR DE GASES DE HALES B) COLECTORES DE GASES DE CAVENDISH C) COLECTOR DE GASES DE SCHEELE D) CALOCTOR DE GASES DE MAYOW E) COLECTOR DE GASES DE LAVOISIER	121
IMAGEN 9. SÍMBOLOS QUÍMICOS PROPUESTOS POR HASSENFRATZ Y ADET. FUENTE: TOMADO DE IHDE (1984)	125
IMAGEN 10. EJEMPLOS DE UDA DEL CÓDIGO ECUACIÓN QUÍMICA	162

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. CARTA CONSENTIMIENTO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 2. CUESTIONARIO PRUEBA PILOTO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 3. CUESTIONARIO DEFINITIVO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 4. EXPERIMENTO 2 – BOYLE	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 5. EXPERIMENTO 5 – BOYLE	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 6. EXPERIMENTO 1 – BOYLE	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 7. EXPERIMENTO 5 – BOYLE	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 8. EXPERIMENTO 1 – BOYLE	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 9. EXPERIMENTO 5 – BOYLE	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 10. EXPERIMENTO 1 – MAYOW.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 11. EXPERIMENTO 2 – MAYOW.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 12. EXPERIMENTO 3 – MAYOW.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 13. EXPERIMENTO 1 – CAVENDISH.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 14. EXPERIMENTO 1 – STAHL	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 15. EXPERIMENTO 2 – PRIESTLEY.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 16. EXPERIMENTO 8 – PRIESTLEY.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 17. EXPERIMENTO 1 – LAVOISIER.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 18. EXPERIMENTO 2 – LAVOISIER.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 19. EXPERIMENTO 3 – LAVOISIER.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 20. EXPERIMENTO 4 – LAVOISIER.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 21. EXPERIMENTO 1 – SCHEELE.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 22. EXPERIMENTO 2 – SCHEELE.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 23. EXPERIMENTO 3 – SCHEELE.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 24. EXPERIMENTO 4 – SCHEELE.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 25. PARTICIPANTE – 2010CEL01	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 26. PARTICIPANTE – 2010CEL02	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 27. PARTICIPANTE – 2010CEL03	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 28. PARTICIPANTE – 2010CEL04	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 29. PARTICIPANTE – 2010CEL05	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 30. PARTICIPANTE – 2011CEL08	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 31. PARTICIPANTE – 2011CEL10	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 32. PARTICIPANTE – 2012CEL14	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 33. PARTICIPANTE – 2012CEL15	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 34. PARTICIPANTE – 2012CEL17	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 35. PARTICIPANTE – 2012CEL18	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 36. PARTICIPANTE – 2012CEL19	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 37. PARTICIPANTE – 2012CEL20	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 38. PARTICIPANTE – 2012CEL21	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 39. PARTICIPANTE – 2012CEL23	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXO 40. UNIDADES DE ANÁLISIS FINALES	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

RESUMEN

Esta tesis avanzó hacia el diseño de una propuesta programática alterna de enseñanza de la química a nivel universitario, estructurada en objetivos o finalidades, núcleos temáticos, criterios para conectar con otros conocimientos y procesos de justificación o procesos epistemológicos. Todos y cada uno de estos elementos adquirió sentido en la medida que articulaba aspectos como los episodios históricos, la descripción experimental, y el diseño y uso de instrumentos científicos lo cual fue obtenido por medio del uso de la historia y la filosofía de la experimentación de la química, y del conocimiento (científico y cotidiano), lenguaje (verbal, gráfico, de fórmulas y cotidiano) y experiencia (descripción experimental, uso instrumental, describe el funcionamiento de instrumentos e imaginativa) caracterizados en los cuestionarios que fueron aplicados a los profesores en formación inicial de ciencias.

Dentro de la revisión de la literatura especializada y enfocada a las investigaciones en el campo de la didáctica de las ciencias en general y de la química en particular, se logró identificar retos y necesidades relacionados con la enseñanza del conocimiento de la química a nivel universitario y específicamente sobre la importancia de asumir la combustión como objeto de estudio educativo útil e ineludible para los profesores en formación inicial de ciencias naturales.

Para otorgar una coherencia investigativa con rigurosidad científica, se seleccionó la metodología de investigación cualitativa con un enfoque interpretativo (Flick, 2004; Hernández, Fernández-Collado, & Baptista, 2008). Los datos que se recolectaron provinieron de: 1. Los Textos Científico – Históricos elaborados por científicos como Boyle, Mayow, Scheele, Priestley, Cavendish y Lavoisier, a los que se les realizó un Análisis Histórico Crítico para establecer un diálogo que permita identificar aportes útiles para la enseñanza de la química. 2. Estudiantes de un programa de Licenciatura en Educación Básica en Ciencias Naturales y Educación Ambiental a quienes se les aplicó un cuestionario y se realizó un análisis para caracterizar cómo el conocimiento, la experiencia y el lenguaje hacían parte de las respuestas que elaboraron.

Al finalizar, se elaboran conclusiones sobre el estudio histórico filosófico de la experimentación, las explicaciones de los profesores en formación inicial en ciencias naturales, la metodología de investigación, el diseño de una propuesta alterna de programación para la enseñanza de la química y las perspectivas para investigación futuras.

Palabras clave: Historia y filosofía de las ciencias, experimentación en química, combustión, profesores en formación inicial de ciencias naturales, explicación, textos científico – históricos.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la Historia y la Filosofía de las Ciencias (*HFC*) en la Enseñanza de las Ciencias (*EC*) es una línea de investigación que ha favorecido el desarrollo de diversas implicaciones encaminadas hacia la elaboración de materiales; el reconocimiento de la dinámica científica para la identificación de problemáticas; el estudio, análisis y recontextualización de experimentos históricos; el análisis de la manera como los libros de texto de ciencias presentan los conceptos y la experimentación (Furió & Domínguez-Sales, 2007; García-Arteaga, 2011a; Jong, 1998a; Matthews, 2009).

Otro de los usos de la *HFC* en la *EC* que se puede destacar corresponde a su importancia para detectar qué conocimiento de las ciencias en general y de la química en particular se debe enseñar, sin embargo, su uso ha estado dirigido específicamente a la educación media, de ahí la necesidad de realizar estudios que estén orientados hacia propuestas de enseñanza que incluyan conocimiento de la química a nivel universitario, que favorezcan su adquisición en los profesores en formación inicial de ciencias naturales (a partir de ahora *PFICN*) (Sánchez-Blanco & Valcárcel, 2000).

Es importante resaltar que en esta investigación se acudió al estudio de la experimentación histórica asociada a la combustión. El estudio y selección de ésta surge porque hace parte de una de las “grandes ideas de la química”, es un fenómeno muy cotidiano, familiar a todos y representa para el profesor, al menos potencialmente, una buena manera de entrar en los primeros tratamientos de las reacciones químicas, conectando con lo que a los estudiantes les resulta familiar (Garritz, 1998; Caamaño, 2003; Castillejo, Prieto, y Blanco, 2005, Cabrera, 2010).

El corpus de esta tesis doctoral fue organizado de la siguiente manera:

Se inició con los *antecedentes*, en los cuales se incluyeron aquellas investigación que se revisaron y que conformaron bloques como: a) Conocimiento de la química: a propósito de su enseñanza; b) La combustión como objeto de estudio educativo; c) La historia y la filosofía de las ciencias en la enseñanza de las ciencias naturales.

Se continúa con la *justificación*, donde se esbozó y sustentó los tres pilares fundamentales que hacen parte de la tesis: I. La identificación de los aportes del estudio histórico filosófico de la experimentación asociada a la combustión. II. La caracterización de las explicaciones como fuente de información del conocimiento químico adquirido por los *PFICN*. III. El diseño de una propuesta programática alterna para la enseñanza de la química de los *PFICN*.

El *problema de investigación* donde se sustentó y se formuló la pregunta de investigación *¿Qué aporta a la enseñanza de la química el estudio histórico filosófico de la experimentación química para profesores en formación inicial?*

Se incluyó el *objetivo* general y los objetivos específicos, al igual que el *marco teórico* el cual constituye un esfuerzo por construir un panorama general sobre la enseñanza de las ciencias naturales que permita esclarecer elementos teóricos fundamentales para abordar este estudio el problema de investigación y los tres pilares mencionados en los que se sustenta esta investigación.

La investigación se adscribió a la *metodología* cualitativa de enfoque interpretativo, cuyo contexto estuvo centrado en los Textos Científico Históricos (a partir de ahora *TCH*) y como participantes se incluirán a los profesores en formación inicial en ciencias naturales (a partir de ahora *PFICN*) del programa académico de Licenciatura en Educación Básica en Ciencias Naturales y Educación Ambiental que está adscrito al Área de Educación en Ciencias y Tecnología del Instituto de Educación y Pedagogía de la Universidad del Valle (Cali/Colombia) que cumplieron con los criterios de selección previamente formulados.

Posteriormente se presentó las nueve etapas de la descripción del proceso de investigación realizadas: Fundamentación Teórica, Presentación y sustentación de proyecto de tesis, Análisis histórico crítico de los *TCH*, Elaboración de cuestionario, Aplicación de cuestionario, Incorporación de la información de los cuestionarios en el software Atlas.Ti, Triangulación metodológica dentro del método, Diseño de una propuesta programática alterna para la enseñanza de la combustión y Conclusiones. En este sentido, se determinó que los instrumentos para recolectar datos serían los *TCH* y el Cuestionario. Para el primer caso fue necesaria una sistemática consulta en libros de historia de la química, así como en diferentes páginas web que incluyen archivos históricos de libro consulta. El análisis de esos *TCH* permitió elaborar el segundo instrumento, es decir, el cuestionario, el cual incluyó cuatro situaciones problema y ocho preguntas abiertas, formuladas a partir de los hallazgos históricos.

La información recolectada fue analizada a través de un plan de procesamiento, en primer lugar, se realizó el análisis de los *TCH* a través de la identificación de la estructura de los elementos constitutivos de los experimentos según la perspectiva de Pickering (Procedimiento Material – Modelo Instrumental – Modelo Fenoménico). Los datos obtenidos a través de los cuestionarios fueron analizados en tres momentos: se inició con una etapa de pre-análisis cuya finalidad era conformar el corpus de trabajo, se continuó con la etapa de explotación del material para dar sentido y significado a las categorías, subcategorías y códigos tanto predeterminadas como las emergentes. Con esto se avanzó hasta la última etapa de tratamiento e interpretación de los resultados obtenidos donde se conceptualizó la información obtenida. Este análisis tuvo como base la fiabilidad y la validación como dos criterios de rigor científico.

Dentro de los resultados y análisis de los *TCH* se logró destacar la identificación de tres episodios históricos (La combustión como acción mecánica, Naturaleza de la combustión y Establecimiento de relaciones y nuevos retos), tres hechos científicos (Emisión de llamas, Aislamiento de los gases y Discrepancia entre la masa de los metales y sus productos después

de la calcinación) y tres procedimientos (descripción experimental, el diseño y uso de instrumentos científicos y la experiencia imaginativa).

Los resultados y análisis de los cuestionarios permitieron caracterizar categorías (conocimiento, experiencia y lenguaje), subcategorías (Científico Químico y Cotidiano, Lenguaje Verbal, Gráfico, De fórmulas y Cotidiano y Descripción experimental, Uso instrumental e Imaginativa) y códigos (Reacción química, Transmutación, Modificación, Enunciado personal, Término químico, Iconemas químicos, Ecuación química, Símbolo químico, Término cotidiano, Reconstrucción corta de la experiencia, Énfasis en el procedimiento experimental, Incluye instrumentos en sus experiencias, Describe el funcionamiento de instrumentos, Imagina lo que ocurre en un experimento).

Basado en los hallazgos anteriores, la triangulación sirvió para establecer relaciones en cuanto al Paralelismo histórico, la Presencia y ausencia de conocimiento químico, la Ausencia pensamiento experimental y la Desarticulación del lenguaje.

La conceptualización e integración de todos los resultados llevó finalmente hacia el diseño de la propuesta programática para la enseñanza de la combustión basada en una articulación entre la teoría y el experimento, el enfoque de enseñanza denominado construcción de significados y la teoría de los contenidos o conocimientos para determinar los objetivos o finalidades educativas, los núcleos temáticos, los criterios para conectar con otros conocimientos y el procesos de justificación o procesos epistemológicos, esta propuesta fue diseñada como una alternativa para que los profesores orienten sus clases.

Finalmente, se elaboró las conclusiones que emergieron a partir de la investigación, su problema, metodología, resultados y propuesta. Además, se incorporó el listado de referencias bibliográficas citadas al interior de toda la tesis y los anexos en los que se presentan las evidencias de algunas de las etapas que lo requirieron.

1. ANTECEDENTES

Uno de los pasos fundamentales para esta investigación es conocer el panorama actual de las problemáticas, intervenciones y metodologías de los trabajos que se han adelantado, no solamente en función de la línea de historia y la filosofía de las ciencias en la enseñanza de las ciencias naturales, sino también cómo esta ha sido utilizada para la identificación de conocimiento científico con sentido y valor, de igual manera, se enfatizan aquellas investigaciones que han tenido como objeto de estudio la combustión y específicamente en aquellas dirigidas hacia *PFICN*. A continuación se exponen y valoran aquellos antecedentes que posibilitan la perspectiva predominante en la investigación; por cierto, siempre inacabada para el desarrollo de la presente investigación.

1.1. Conocimiento de la química: a propósito de su enseñanza

En la actualidad es habitual escuchar en los profesores de ciencias, en cualquier nivel académico, expresiones como “hoy vamos a ver química...”, “en la clase de química...”, “la química estudia...”, “la química del carbono...”, así como estas, existen otras frases que nos llevan a preguntarnos ¿Existen varias clases de química? y sobre todo ¿Qué es la química? Para esta última, la respuesta no es tan obvia como parece, sobre todo por los debates actuales que subyacen de las diferentes concepciones, provenientes de la enseñanza de la química, acerca de lo que realmente es y de qué “habla” la química. Nelson (1983, p. 122) manifiesta que la química abarca dos actividades:

1. La búsqueda por una comprensión de la materia y su comportamiento.
2. La utilización de la materia y sus comportamientos para fines humanos.

Posteriormente, amplió sus argumentos sustentando que la química es una actividad intelectual y práctica e inextricablemente conectada con otras actividades humanas. Además, sostuvo que esta manera de entender la química adquiere un significado importante para la enseñanza de la química, ya que es necesario enmarcarla en su contexto.

Lo anterior significa que según como el profesor interprete, cuestione y comprenda la química, marcará el rumbo y el camino de su forma de enseñar. Esto nos conduce inmediatamente a lo que ocurre en los ambientes de clases de química a nivel universitario, en ellas podemos identificar que los sujetos de enseñanza y aprendizaje versan sobre los contenidos o mejor en el conocimiento, sin embargo, lo que encontramos en el proceso de enseñanza de la química, es que el profesor interpreta el conocimiento de manera conceptual y prefijada, no los modifica ni adapta a las condiciones, necesidades e intereses de quienes asisten a sus clases, esto significa que no existe ningún tipo de problema relacionado con el conocimiento y lo único que existe es una preocupación sobre cómo enseñar y se descuida el qué enseñar y el para qué enseñar química (Izquierdo, 2005c; Martín del Pozo & Rivero, 2001).

A ello se le suma una tendencia, que podría ser catalogada como una dificultad, que consiste en que tradicionalmente los profesores de química universitarios propenden por una enseñanza de la química, saturada de datos e información que limita y desfigura la adquisición de conocimiento sobre la química en los profesores en formación inicial de ciencias (Duschl, 1997).

Otro factor disonante que encontramos a la hora de enseñar química a nivel universitario, es la amplia y extensa gama de información que continuamente está apareciendo publicada en revistas especializadas de química y congresos. En algunas ocasiones esto significa para el profesor de química universitario preguntarse ¿Qué química enseñar? La respuesta más simple es acudir a una selección de contenidos – en su mayoría conceptuales – a partir de la información existente en los libros de texto de química universitarios (Farías, 2012; Izquierdo, 1986; Sánchez-Blanco & Valcárcel, 2000). Sin lugar a dudas esto evidencia una enseñanza enciclopedista de la química y por ende promueve en los futuros profesores de ciencias un adoctrinamiento y limitación a la hora de elaborar explicaciones sobre distintas situaciones problemas a las que se vean enfrentados (Izquierdo, 2005b). Por ello es urgente y necesario diseñar propuestas programáticas alternas para la enseñanza de la química a nivel universitario, sobre todo si tenemos como propósito favorecer en los futuros profesores de ciencias la adquisición de conocimiento químico.

Con el propósito de consolidar propuestas que indiquen los núcleos temáticos¹ de la química que deben enseñarse a nivel universitario, que den salidas razonables a la vertiginosa producción de conocimiento químico, al cual nos vemos expuestos en la actualidad, investigadores como Spencer (1992), Gillespie (1997), Atkins (1999, 2005), Nelson (2003) y Hill & Warren (2009) han formulado lo que denominan “ideas fundamentales”, “grandes ideas de la química” o “conceptos nucleares”. Al hacer un análisis de dichas propuestas, los núcleos temáticos químicos incluyen conceptos como: átomo, enlace, energía, entropía, teoría cinética, reacción química, sustancias, materia, elementos. Esto puede ser importante y necesario para quienes se están formando como futuros químicos, pero, para los futuros profesores de ciencias posiblemente no contribuya del todo en su desarrollo profesional porque de alguna manera quedan desconectados de sus intereses, necesidades y contextos de los que harán parte.

Entender el conocimiento químico ligado únicamente al aspecto conceptual trae consigo otra dificultad y es que, se está incurriendo en la presentación de una química completamente “reducida” a las propiedades físicas (masa, tamaño, forma) de la materia primordial (átomos, electrones, protones) (Talanquer, 2010b, p. 144). Esto significa que el futuro profesor de ciencias en lugar de estar adquiriendo conocimiento químico lo que aprende es químico – física. Esta dificultad debe convertirse en un aliciente para diseñar propuestas programáticas alternas de enseñanza de la química que sirvan para recuperar la esencia de la química.

¹ Esta idea será profundizada en el capítulo 8 donde se describe el diseño de la propuesta programática alterna de enseñanza de la química.

Notemos que la química como disciplina científica no ha sido responsable de ello; los responsables de lo que ha ocurrido con ella, han sido aquellos químicos, químicas, profesores y profesoras que se han encargado de direccionarla hacia esas fronteras, posiblemente entusiasmados por integrar los nuevos aportes provenientes de la mecánica cuántica y lógicamente interesados por la idea de no quedar relegados o desactualizados.

El párrafo anterior es contundente porque permite identificar que la química es producto de una actividad humana y por ende cultural, que ha estado marcada por factores como la lucha por el reconocimiento de entidades o asociaciones, la elaboración de nuevas explicaciones nanoscópicas, los intereses de determinados grupos de investigación, y la búsqueda de financiación para la elaboración de proyectos de investigación química. Estos factores conducen a la desfiguración de la química, es decir, la química acaba siendo opacada por la física.

Esta última idea de que la física ocupa el lugar más alto en jerarquía mientras que la química queda relegada a posiciones secundarias ha sido cuestionada por filósofos de la química (Lombardi & Pérez, 2010; Scerri, 2000; Schummer, 2010). La química tiene características que se reflejan en el estudio de la transformación de la materia y que ha hecho parte del dinámico camino transitado. Por esta razón, ellos hacen un llamado hacia la recuperación o rescate de la ontología autónoma de la química, argumentando que “no todos los conceptos químicos y leyes pueden derivarse del marco teórico de la física” (Lombardi & Labarca, 2005, p. 128)

Desde el campo de la historia de la química, se puede destacar lo que plantean Bensaude-Vincent & Stengers (1997) como otro antecedente importante en el momento de identificar núcleos temáticos químicos. Ellas hacen un llamado a valorar el camino dinámico que ha transitado la química y plantean tres momentos fundamentales:

1. El análisis químico: esfuerzos dirigidos hacia la descomposición, identificación y clasificación de los cuerpos.
2. La sustitución química: el hecho de reemplazar elementos dentro de los compuestos orgánicos y es tanto su potencial que da origen a la química orgánica.
3. La síntesis química: la fabricación y producción de nuevas moléculas, nuevas sustancias y nuevos materiales ya sea partiendo de elementos (hidrogeno, carbono, nitrógeno) o partiendo de otros compuestos más simples.

Estos tres momentos pueden considerarse como referencia para diseñar una propuesta en la que se identifiquen núcleos temáticos de la química a nivel universitario, eso significa que es perentorio elaborar investigaciones que complementen y den sentido a cada uno de esos momentos. Vemos entonces que a través de los aportes provenientes de la *HFC* en general y de la química en particular, se pueden identificar núcleos temáticos esenciales de la dinámica histórica de la química que puedan ser utilizados en la enseñanza de la química.

Lo anterior significa que la inclusión de antecedentes provenientes de la filosofía de la química y la historia de la química pueden contribuir como referencia para avanzar hacia el diseño de propuestas alternas donde se incluyan núcleos temáticos de la química a nivel universitario con el propósito de aportar a la enseñanza de la química (Duit, 2006). Dichos aportes pueden incluir aspectos propios de la actividad científica como pueden ser la elaboración de preguntas problema, la realización de experimentos, la interpretación y análisis de los datos, la indagación, la explicación y argumentación, el trabajo en equipo, la socialización y defensa de las ideas, los cuales deben articularse con los contextos educativos donde se ofrecerán.

Es así que Izquierdo (2013, pp. 1635) sustenta que “la nueva filosofía de las ciencias (epistemología naturalizada, ciencia como intervención y transformación) nos ayuda en el proceso de formular preguntas relevantes, y la historia de la química nos proporciona los ejemplos” que sumadas a la educación en química, otorgará a los futuros profesores de ciencias naturales nuevos elementos de análisis, útiles para la comprensión y adquisición de un conocimiento químico. Lo que se acaba de sustentar justifica el desarrollo de investigaciones como la que se pretende, ya que de manera sencilla inicia un camino prominente para continuar con estudios sobre los diferentes núcleos temáticos de la química que hicieron parte de la consolidación de la química como una disciplina autónoma.

Se pretende lograr una sincronización que favorezca a los futuros profesores de ciencias la valoración de la química como una actividad inherentemente humana, la resignificación de la dinámica que condujo hacia la consolidación de la química como disciplina científica con problemas, metodologías y acciones que la caracterizan y diferencian de otras.

En función de esta resignificación de la química, con finalidades dirigidas hacia su enseñanza, podemos mencionar algunos antecedentes que se han encaminado en esta dirección.

Izquierdo (2005b) sustenta que una de las funciones fundamentales que tenemos a la hora de enseñar ciencias es preguntarnos ¿Qué vamos a enseñar? La tendencia normal del profesorado es preocuparse por el cómo vamos a enseñar ciencias y se infravalora lo concerniente a los contenidos sobre los cuales girará la actividad científica escolar, en este sentido ella dice “la tendencia general es suponer que lo que sabemos (o creemos que aprendimos los que ahora somos adultos) es lo que todos han de saber” (pág. 111).

Si profundizamos en esta cita se puede precisar que cuando dice “lo que sabemos” nos dirige inmediatamente a cada una de las asignaturas de ciencias en general y de química en particular, que hicieron parte del proceso de formación inicial de los profesores. Se esperaría que dichas asignaturas aporten lo que básicamente deberían saber dichos profesores, si fuese así, sería magnífico que se mantuviera esa tendencia general. Sin embargo, en la actividad académica universitaria ocurre todo lo contrario, por un lado, únicamente lo que interesa es el aspecto de lo conceptual, y por otro lado, no se procura que los estudiantes en general y futuros profesores de ciencias en particular, avancen hacia una reflexión que les permita

identificar la importancia que tiene el conocimiento químico; es más, se descuidan actividades en las que se involucren competencias cognitivo – lingüísticas como la explicación, la justificación, la argumentación (Camacho & Quintanilla, 2008) o de aquellas que promuevan habilidades inherentes a las prácticas experimentales (Caamaño, 2005).

Si reconocemos que en la actualidad estamos en una sociedad que exige la participación dinámica de todas las personas en la generación de conocimientos aplicables y adecuados a sus expectativas, intereses y necesidades, se hace perentorio que los núcleos temáticos de la química entren en sincronía con las capacidades, intereses y necesidades de los futuros profesores de ciencias (Izquierdo, 2005c, p. 112).

Continuando sobre qué debemos enseñar de la química, Galagovsky (2007) no se aleja de lo que se ha venido planteando hasta ahora, es decir, para esta investigadora es importante que se lleve a cabo una identificación de núcleos temáticos de la química que trasciendan la manera tradicional como se ha venido haciendo, es decir, que se supere aquella visión en la que con el sólo hecho de hacer un listado de contenidos conceptuales de química y de procedimientos asociados a la metodología científica. Reiteramos la necesidad de adoptar una enseñanza de la química que integre tanto los aspectos conceptuales, la acción y la comunicación en los contextos a los que pertenecen los diversos y dinámicos estudiantes y en este caso los futuros profesores de ciencias (Izquierdo, 2004b).

De acuerdo a lo planteado sobre los núcleos temáticos de la química podemos mencionar que esta preocupación ha servido como un aliciente que ha conducido a la elaboración propuestas para la enseñanza de la química, entre ellas se pueden destacar las siguientes:

1. En el contexto estadounidense se incluyen dos programas en el marco nacional y de estándares de la educación en ciencias en la escuela primaria y secundaria: I. *National Science Education Standards* (NSES). II. *Framework for K-12 Science Education* (FSE) usadas por los desarrolladores de los *Next Generation Science Standards* (NGSS). Un análisis comparativo de estos dos programas lo realizó Talanquer & Sevia (2014) con el propósito de identificar cómo es conceptualizado, retratado y esbozado el conocimiento químico, las ideas que los orienta son apoyar el trabajo que realizan con profesores en formación inicial y en ejercicio, dar puntos de vista sobre las ideas principales y las relaciones en la química de la escuela, fortalecer la enseñanza de los cursos de química de pregrado y orientar el trabajo con estudiantes de posgrado en la investigación en educación química. Estos investigadores señalan que:
 - Aunque la organización está dada por niveles (macroscópico, molecular, subatómico) y dimensiones (composición, estructura energía, tiempo) tomando como referencia el trabajo de Jensen (1998) y Talanquer (2011) la selección de los conceptos e ideas de la química dependen de factores como las visiones personales de los miembros del equipo desarrollador de los programas

- Las ideas principales de la química están adscritas bajo la categoría de la ciencia física debido posiblemente a que los desarrolladores consideran que estas ideas pueden ser explicadas en términos de los conceptos físicos.
 - La representación de las ideas principales de la química en estos documentos es considerarla como una ciencia convencional que se interesa fundamentalmente en la descripción, explicación y predicción de los procesos y las propiedades de las sustancias químicas.
 - Finalizan haciendo una invitación a los desarrolladores de currículo para que en los próximos documentos se involucre al pensamiento químico como un factor importante para la comprensión de actividades que continuamente están influyendo en el entorno al que pertenecemos.
2. A diferencia de la propuesta anterior, en Alemania, el trabajo colaborativo entre profesores de bachillerato y profesores universitarios condujo al diseño del proyecto *Chemie in Kontext* para la enseñanza de la química en contexto. La esencia de este proyecto radica en valorar un aprendizaje basado en contextos, desarrollo de conceptos básicos y una variedad de métodos de enseñanza y aprendizaje como tres aspectos que deben primar en el momento de la elaboración de sus unidades de enseñanza y aprendizaje y materiales las cuales deben estar estructuradas por cuatro fases: 1. Fase de contacto. 2. Fase de curiosidad y planeación. 3. Fase de desarrollo y presentación. 4. Fase de resumen, profundización, ejercicio, abstracción y transferencia (Parchmann & CHIK-team 1, 2009; Parchmann et al., 2006).
 3. En esta misma orientación, en Gran Bretaña, fue elaborado el proyecto *Salters Advance Chemistry* cuyo propósito era “ofrecer a los estudiantes una aproximación al estudio de la química mucho más atractiva que la que ofrecían los cursos tradicionales, basada en aprender esta ciencia a partir de temas de investigación actuales y de sus aplicaciones” (Caamaño, 2011c, p. 153). Se caracteriza por un enfoque de currículo en espiral, en la cual la presentación de los conceptos químicos se realiza gradualmente, en los materiales se incluye un libro de 13 narraciones (Storylines), un libro de conceptos (Chemical Ideas) y un conjunto de actividades (Activities) (Otter, 2011).
 4. Este proyecto fue adaptado en España para la enseñanza de la química en el bachillerato y fue realizado por profesores de secundaria y de las universidades de Barcelona, Madrid y Valencia. Al igual que el proyecto británico, las unidades se estructuraban en tres partes (Química y Sociedad, los conceptos químicos y las actividades). La presentación de los contenidos conceptuales es tradicional, existen recuadros para la realización de actividades con experimentos guiados (Caamaño, Gómez, Gutiérrez, Llopis, & Martínez-Díaz, 2001; Caamaño, Puigvert, Melia, Llaveria, & Corominas, 2011; Caamaño, 2006a, 2007, 2011a; Grupo Salters, 1999).
 5. En el panorama suramericano y específicamente en Brasil, se puede destacar el proyecto *Química e Sociedade* que está dirigido para la enseñanza de la química por medio de temas CTS. Está destinado a los tres últimos años de la educación secundaria. El orden

de los contenidos químicos mantiene el orden tradicional pero se relacionan a temas CTS (por ejemplo procesos químicos presentes en aspectos ambientales, políticos, económicos y ciudadano) (Caamaño, 2011b; dos Santos et al., 2009).

Los cinco proyectos anteriores se caracterizan por ubicarse en la educación secundaria, son propuestas alternativas que pretenden avanzar hacia la búsqueda de soluciones que integren e incorporen el contexto cotidiano, político, social y económico en los cuales los estudiantes se involucran continuamente. El desarrollo y aplicación de estos proyectos significa que debe producirse un efecto domino orientado hacia la formación inicial de los profesores de ciencias en general y de la química en particular. En este sentido una aproximación que se puede referenciar es la propuesta *Chemistry in Context* elaborada por la Sociedad Americana de Química.

Para ellos el propósito fue “establecer los principios de la química sobre una base de “necesidad – de – conocer”, siempre dentro de un marco de aspectos significativos en la interfase ciencia – sociedad. Calentamiento global, calidad del aire y el agua, lluvia acida...son algunos de los tópicos que el estudiante explora” (Pryde-Eubanks, 2008, p. 289). La organización está dada por 13 capítulos, se destaca que el primero es el Capítulo 0 porque está dirigido a los estudiantes con el propósito que se familiaricen con la información que encontraran y las diferentes opciones de interacción que pueden encontrar en la web. Este proyecto contiene una variedad de actividades que les permitirá a los estudiantes usar lo que están aprendiendo.

El antecedente anterior es un llamado de atención para los programas de licenciatura ya que debe existir una correlación con las propuestas alternas que se están desarrollando en la educación básica y media, de lo contrario, la preparación que se reciba en la universidad solamente incluirá un conocimiento conceptual inconexo y desligado de la realidad, además, seguirá prevaleciendo una selección y organización de contenido basada en los libros de texto universitarios.

Es aquí donde la *HFC* adquiere un valor preponderante, ya que podemos catalogarla como una herramienta que brinda aportes significativos para la identificación de núcleos temáticos de la química que podrían integrar propuestas programáticas alternas de enseñanza de la química. Destaquemos por ejemplo, el trabajo elaborado por Zuluaga (2010) quien tuvo como propósito acudir a la historia y epistemología del conocimiento de la química para diseñar una propuesta de secuenciación de contenidos. Para ello hizo un análisis histórico epistemológico del concepto de átomo tomando como referencia el estudio de algunos historiadores y epistemólogos de la ciencia y de la química en particular.

Uno de los pocos – por no decir el único – focalizado en la formación de profesores de química en ejercicio, fue la investigación que adelantaron Mosquera, Mora, & García (2003). El interés de ellos estuvo encaminado en abordar el manejo disciplinar de los profesores que se encuentran en ejercicio en cuanto a conceptos fundamentales de la química se refiere. Esto

los llevó a estudiar conceptos fundamentales de la química como la discontinuidad de la materia, el cambio químico y la cuantificación de relaciones a partir de reconstrucciones didácticas desde la Historia y la Epistemología de la química, analizándose sus implicaciones en el trabajo profesor. Dentro de sus conclusiones sustentan que es primordial que todos los profesores debemos realizar una reflexión académica sobre lo que sabemos de y sobre la disciplina que se enseña o se va a enseñar.

La importancia de este antecedente es que marca un camino promisorio para la realización de investigaciones sobre la identificación de contenidos de la química a nivel universitario, en el cual se valore y promueva la realización de explicaciones en los estudiantes, en este caso, de los futuros profesores de ciencias y se reconozcan e incorporen los aportes de la historia y la filosofía de la química. Por lo tanto, es así como adquiere un valor incalculable acudir a la *HFC* como disciplinas metateóricas que cumplen una función complementaria para la educación en química.

1.2. La combustión como objeto de estudio educativo

En la historia de la química una de las nociones que ha suscitado varios trabajos de investigación ha sido el concepto de combustión. Se han realizado trabajos alrededor de científicos como Hooke (Lysaght, 1937; Turner, 1956), Mayow (Partington, 1956a, 1956b), Stahl (Metzger, 1974), Cavendish (Ducheyne, 2011; Seitz, 2004) y Lavoisier (Gough, 1988; Grimaux, 1888; Perrin, 1988) con el propósito de sustentar algunas de las contribuciones que ellos realizaron en la consolidación y explicación de la combustión como objeto de estudio.

Para la química, la consolidación de la combustión ha sido importante en términos de la historia de la química, para la enseñanza de la química y por su aplicabilidad en la vida cotidiana. Miremos cada una de ellas.

1. En términos de la historia de la química: para la química la combustión fue importante porque significó la continua discusión y defensa de aquellos que apoyaban el modelo del flogisto propuesto por Stahl, con aquellos que integraban el colectivo de investigadores que defendían el modelo de la oxigenación propuesto por Lavoisier. Esta disputa, por lograr una explicación más convincente de la combustión, sirvió para identificar como procesos similares a la calcinación, corrosión, respiración y combustión; diseñar, elaborar y mejorar materiales de laboratorio; caracterizar gases como el nitrógeno, dióxido de carbono, hidrógeno y oxígeno (Cabrera, 2010a, 2012b).
2. Para la enseñanza de la química: uno de los conceptos fundamentales que deben ser orientados en cualquier proceso de enseñanza – aprendizaje de la química es la reacción química y una manera de acercar inicialmente a los estudiantes a ella es introducir la combustión, ya que esta puede ser fácilmente observable en situaciones

cotidianas (Reyes & Garritz, 2006). De igual manera, esta noción exige un conocimiento del lenguaje químico, es decir, el dominio de la nomenclatura química, las ecuaciones químicas, las formulas químicas y la estequiometría.

3. Aplicabilidad en la vida cotidiana: la combustión en la cotidianidad puede catalogarse como un proceso mediante el cual se logra obtener energía útil para los medios de transporte y los hogares.

Estos antecedentes son referentes valiosos para sustentar la importancia y el valor que tiene llevar a cabo investigaciones sobre la combustión, pero no limitado al propósito histórico con el que ellos lo elaboraron, sino con la intención de considerarlo como un objeto de estudio educativo en pro de la identificación de contenidos de la química que sea útil y necesaria para la formación de futuros profesores en ciencias naturales. Por tanto, en lo que respecta a este trabajo de tesis doctoral, el interés estará situado en el análisis histórico crítico de la combustión desde una mirada educativa.

Basados en el propósito anterior, se inició una búsqueda y análisis de antecedentes que se acercaran, de alguna manera, a esta finalidad. Este proceso condujo a la identificación de cuatro bloques: 1. Concepciones y explicaciones de los estudiantes sobre la combustión; 2. Investigaciones encaminadas hacia la enseñanza de la combustión; 3. Uso de la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza de la combustión. Observemos qué podemos destacar de cada una de ellas:

1.2.1. Concepciones y explicaciones de los estudiantes sobre la combustión

Uno de los trabajos que inicialmente analizó la combustión como objeto de estudio fue el de Pfundt (1981), teniendo como base el propósito de identificar si las concepciones especiales de los estudiantes de 8 a 13 años eran desarrolladas en ciertas concepciones pre-existentes sobre la combustión del alcohol. Encontró que los estudiantes tenían concepciones como destrucción irreversible de sustancias, una distribución sin transformación de sustancias y una combinación de ambas. Un análisis de fondo en este sentido muestra que en estos estudiantes la idea fundamental – la transformación de la materia – sobre la cual versa el estudio de la química, es considerada únicamente en un solo sentido y por ello las reacciones reversibles no tienen cabida en sus explicaciones. Por otro lado, asumen que lo único que ocurre en una reacción química es una reorganización de la materia en lugar de una transformación de las sustancias.

Al igual que el estudio anterior, pero con la intención de identificar y caracterizar la comprensión de los estudiantes sobre el concepto combustión, BouJaoude (1991) señala que la comprensión de los estudiantes sobre la combustión fue fragmentada, inconsistente y variaba con respecto al conocimiento científico. Por ejemplo, los estudiantes asumían que la

cera, el alcohol y el oxígeno no participan activamente en la combustión, las sustancias sometidas no presentaban cambios químicos durante la combustión, términos como evaporación y combustión pueden ser usados indistintamente cuando describe la combustión del alcohol y frases como cambio físico y cambio químico eran usadas indistintamente cuando describían la combustión de las cosas. Al finalizar sus conclusiones o implicaciones para la enseñanza expresan que los profesores deberían diseñar actividades en las clases para exponer este tipo de comprensión sobre diferentes conceptos de ciencias y usarlos para planear sus actividades de clases.

En función de la última idea, Hesse & Anderson (1992) sugieren que los profesores anticipen los errores conceptuales que afectan el pensamiento de los estudiantes sobre cambio químico y en relación a la formación de los profesores manifiestan que pocos de ellos son conscientes de la necesidad de la enseñanza del cambio conceptual. Sugieren que “los cambios son necesarios en muchos aspectos de la educación en química, incluyendo libros de texto y materiales, enseñanza en las clases y programas de formación de profesores” Hesse & Anderson (1992, pp. 296). Interpretamos en este antecedente que hay que realizar cambios en los programas de formación inicial y en ejercicio de los profesores.

Otro de los trabajos ampliamente referenciados en la literatura ha sido el de Prieto, Watson, & Dillon (1992). Con el propósito de investigar las explicaciones de los estudiantes sobre combustión lograron evidenciar que la mayoría de los alumnos no hicieron mención al oxígeno o al aire como una característica importante del proceso de combustión, muchos pensaban que un cambio en la forma de una sustancia podía causar un cambio en la masa, y en particular que los gases tenían peso cero o peso negativo.

Por su parte, Mortimer & Miranda (1995) ubican a la combustión dentro de la reacción química; además explican que dentro de las mayores dificultades que enfrentan los estudiantes de enseñanza fundamental o media, es que en ocasiones, para muchos estudiantes, la aparición de nuevas sustancias no es visible. Así mismo, se les dificulta comprender que a pesar de que se conserve la masa en una reacción, “aparezcan” nuevas sustancias, ya que, argumentan, esto actúa en contra del “principio de conservación” y para solucionar esto se recomienda que el estudiante observe y analice varias reacciones químicas hasta que saque sus propias conclusiones, de tal manera que asimile que se conservan los átomos de los elementos químicos.

Entrevemos, en estas primeras investigaciones, que los intereses iniciales han estado dirigidos hacia las concepciones y explicaciones de los estudiantes, en otras palabras, lo que buscaban los investigadores era identificar la información con la que ellos llegan al aula de clases y reconocer que el estudiante como sujeto de aprendizaje debería participar activamente en los procesos que se realizan al interior del aula. Esto podría asociarse con el auge que tuvo a partir de 1970, para la enseñanza de las ciencias, lo que muchos investigadores denominaron la búsqueda de ideas previas, esquemas alternativos, ciencia del

alumno, concepciones alternativas (Bello, 2004; Campanario & Otero, 2000; García-Hourcade & Rodríguez de Avila, 1988; R. Osborne & Freyberg, 1998).

Una síntesis que se puede realizar de este bloque de antecedentes es que la mayoría de los trabajos sobre concepciones y explicaciones de los estudiantes sobre la combustión han estado focalizados exclusivamente en estudiantes de edades comprendidas entre 8 y 17 años pertenecientes a la educación básica y media. De esta manera, un trabajo como el que se pretende realizar aquí se vuelve una pieza clave porque profundizará en las explicaciones que realizan los futuros profesores de ciencias y que conlleven a mejorar su formación y desarrollo profesional.

1.2.2. Investigaciones encaminadas hacia la enseñanza de la combustión

Una de las propuestas más citadas en la literatura de la investigación educativa sobre la combustión es la de Meheut, Saltiel, & Tiberghien (1985), quienes investigaron en qué medida el estudio de la combustión posibilita la introducción de conceptos relativos a las reacciones químicas. Afirman que las observaciones de los estudiantes los llevan a interpretaciones que están muy lejos de los conceptos de una reacción química entre un combustible y oxígeno, la modificación de las propiedades de un objeto durante los resultados de la combustión de transformaciones separadas de cada una de las sustancias que componen el objeto. Se impone el carácter permanente de algunas sustancias, cumpliendo con la conservación de algunas propiedades (color, olor) y es más difícil aceptar la existencia de agua que la de CO₂ entre los productos de combustión.

Mientras que, enmarcados en un Programa de Ciencia, Gabel, Monaghan, Makinster, & Stockton (2001, p. 439) se preguntaron sobre:

¿Cuáles son las opiniones de los niños sobre la quema antes y después de la instrucción?,
¿Las opiniones de los niños se vuelven más científicas, es decir, más acordes con los puntos de vista de los científicos, con la instrucción, y si es así, cómo? y ¿Los cambios en la comprensión de los niños de la quema está correlacionada con sus edades? (p. 439)

Después de un proceso de instrucción encontraron que había inconsistencias entre las respuestas de los estudiantes cuando resolvían un examen de opción múltiple y las entrevistas, es decir, aunque en el examen reconocían la necesidad del oxígeno en la combustión y en la distinción entre la descomposición y la combustión, en las entrevistas pocos niños podían explicar específicamente lo que estaba sucediendo en los fenómenos.

De igual modo, She & Lee (2008) y Lee & She (2009) al aplicar un proyecto de aprendizaje digital adaptativo, denominado Construcción y Reconstrucción de Conceptos Científicos (SCCR, por sus siglas en inglés) que fue desarrollado con base en la teoría de Modelo Dual de Aprendizaje Situado (DSLM, por sus siglas en inglés) y el razonamiento científico, sobre

lo cual concluyeron que los estudiantes que participaron de éste lograron acertar en más conceptos correctos y adquirirlos más eficazmente que aquellos estudiantes que fueron instruidos convencionalmente.

Otras investigaciones avanzaron hacia el uso de mapas conceptuales como un recurso alternativo a los métodos tradicionales (Dunker, Magntorn, & Hellden, 2008) y más recientemente al uso de visualizaciones dinámicas como videos, experimentos, películas y discusiones online con el propósito de dar nuevas oportunidades para que los estudiantes den sentido a los fenómenos científicos y sobre todo para que relacionen aspectos tanto macroscópicos como microscópicos (Zhang & Linn, 2011).

Como síntesis de esta tendencia sobre las investigaciones internacionales encaminadas hacia la enseñanza de la combustión, se destaca que aún después de la intervención en el aula a través de propuestas diferentes a las tradicionales, los estudiantes continuaron desconociendo el papel del oxígeno en la combustión y no consideraron al combustible en la reacción. Las causas posibles radican en que los contenidos que fueron secuenciados se redujeron a los conceptuales y se desdibujaron los contenidos procedimentales y actitudinales, esto coincide con lo que N. Blanco (1991), Calvo Pascual & Martín Sánchez (2005) y Texeira & Coppes-Petricorena (2005) mencionan como la importancia exclusiva que los profesores le han dado al uso de los libros de texto, de esta manera, abandonan la realidad sociocultural a la cual los estudiantes pertenecen (F. M. Lorenzo, García-Rojeda, & Domínguez, 1987) y mucho menos la asocian con los aportes que la *HFC* pueden ofrecer a la enseñanza de las ciencias.

En lo que se ha expuesto hasta el momento se puede identificar que la mayoría de las investigaciones se interesan en la enseñanza y aprendizaje de estudiantes en edades comprendidas entre 8 y 17 años; sin embargo y en lo que respecta a esta investigación, han sido pocos los trabajos dirigidos hacia el uso de la historia y la filosofía de la combustión y se identifican escasos estudios que hallan seleccionado como sujetos de investigación a los futuros profesores de ciencias naturales.

1.2.3. Uso de la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza de la combustión

En cuanto al uso de la *HFC* en la enseñanza de la combustión tenemos por ejemplo a Paixao & Cachapuz (2000) quienes, con la intención de presentar y discutir un nuevo método de enseñanza de la conservación de la masa en reacciones químicas, reconsideran el papel de la historia de la ciencia, re-organizan y re-orientan el trabajo experimental y toman en consideración la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad.

Por otro lado, Amador (2006) y Amador, Gallego, & Pérez (2008) direccionados hacia la identificación de los modelos mentales explicativos que han elaborado los profesores en formación inicial en química acerca del concepto combustión, concluyen que “los modelos

mentales explicativos de los profesores en formación inicial en química, se van modificando y acercándose a los consensos de la comunidad científica” (Amador, 2006, p. 122). Cuando se refieren a que hubo un acercamiento a los consensos de la comunidad científica están considerando que los profesores en formación inicial iniciaron en un modelo que coincidía con las explicaciones de Stahl y que a través de un proceso de intervención en el aula lograron direccionarlos hacia las explicaciones de Lavoisier.

En esta misma dirección, Ayala, Bustamante, Murillo, Perilla, & Gallego (2008) partiendo de un análisis histórico – epistemológico de los modelos de dinámica científica del Flogisto y del Oxígeno y considerando un estudio internalista y externalista de las épocas correspondientes a los modelos en cuestión, confirman que la historia de la química es importante para la enseñanza de la misma ya que se convierte en una herramienta que ayuda en la comprensión del desarrollo y aplicación de la química.

1.3. La historia y la filosofía de las ciencias en la enseñanza de las ciencias naturales

La elaboración de aportes para la enseñanza de las ciencias a partir de su relación con disciplinas metateóricas como la *HFC* ha sido ampliamente sustentado en los últimos 30 años (Chamizo, 2014; Izquierdo, Quintanilla, & Merino, 2006; Izquierdo, Quintanilla, Vallverdú, & Merino, 2014; Izquierdo, 1996b; Martínez & Guillaumin, 2005; Matthews, 1989; Seker & Welsh, 2006; Solbes & Traver, 1996; Teixeira, Greca, & Freire, 2012).

El camino que ha recorrido durante este tiempo ha estado marcado por la aparición de diversas evidencias que sustentan su importancia: 1. Realización de congresos con la intención de mostrar los últimos avances para el fortalecimiento de las relaciones entre los tres campos (Congreso Internacional sobre Historia, Filosofía de la Ciencia y Enseñanza de las Ciencias, History of Physics and Physics Teaching, el History of Science and Teaching, Conferencia Latinoamericana de Historia, Filosofía y Didáctica de las ciencias). 2. Surgimiento y consolidación de revistas como *Science & Education: Contributions from History, Philosophy and Sociology of Science and Mathematics*, también se encuentra la sesión que dedicada a ella la *Revista Enseñanza de las Ciencias*. 3. Incorporación de capítulos en algunos de los *Handbook* que han compilado investigadores como Gabel (1994), Fraser & Tobin (1998) y Fraser, Tobin, & McRobbie (2012). 4. La compilación de Matthews (2014) del *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* exclusivo para la presentación de aportes de la *HFC* para la educación en ciencias

En términos generales en las evidencias presentadas se vislumbra que la *HFC* en la enseñanza de las ciencias puede ser utilizada como un recurso importante para el diseño de materiales curriculares, la estructuración de la práctica educativa y la toma de decisiones de los profesores (Dibattista & Morgese, 2013; Duschl, 1994). Dentro de las implicaciones que corresponden a la formación profesor, podemos referenciar que es fundamental continuar

explorando y ejecutando acciones que permitan subrayar aspectos como la inclusión de la sociedad, los valores, las relaciones con la tecnología, las aportaciones de éste a la cultura y el conocimiento proveniente de las prácticas experimentales (Mellado, 1998).

Algunos alcances de la *HFC* en la enseñanza de las ciencias, en general, pueden resumirse de la siguiente manera: 1. Suscita una actitud crítica, rigurosa y cuestionadora en quienes son partícipes de propuestas que la incorporan. 2. Promueve la adquisición de un conjunto de conocimientos, habilidades y valores (humanismo, la ética, la honestidad científica, la responsabilidad y el compromiso social) intrínsecos en la profesión profesor y que se van a evidenciar en la práctica del profesor. 3. Beneficia una posición cuestionadora gracias a la formulación de preguntas como ¿Qué significó para el desarrollo de las ciencias el hallazgo, la interpretación y la experimentación de un determinado fenómeno? ¿Cuáles modelos científicos participaron de las discusiones sobre los fenómenos y hechos? ¿Qué controversias suscitaban a partir de la lucha entre modelos explicativos? ¿Cómo los científicos lograban persuadir a los miembros de una determinada comunidad científica? ¿Qué impactos sociales y culturales alcanzaron por medio de las interpretaciones científicas? 4. Contribuye a la comprensión del desarrollo de las ciencias como una dinámica que está en continua construcción. 5. Y sobre todo favorece la comprensión de la actividad científica como una actividad humana y cultural.

En el último alcance podemos leer que la actividad científica hace parte de una actividad humana y cultural, esto significa que en el proceso y producción de conocimiento científico, los participantes (comunidad científica) defienden y sustentan sus ideas, propuestas, modelos explicativos y experimentos influenciados por diversos factores sociales (Fleck, 1986, 1994). La idea de asumir a la actividad científica como una construcción humana y cultural pone en evidencia que las teorías y las prácticas experimentales en general y la experimentación en particular son producto de los acuerdos, disputas, controversias a los que estaban expuestos los diferentes colectivos científicos. Si extrapolamos esta perspectiva a la formación inicial de los profesores, se puede evidenciar que la actividad educativa que ellos realizarán, también hace parte de una actividad humana y cultural, por lo tanto, toda propuesta que diseñen, ejecuten y evalúen estará mediada por los factores sociales que han construido a través de su trayectoria académica.

De igual modo, todos esos alcances de la *HFC* pueden ser de gran ayuda a los programas académicos que integran los futuros profesores de ciencias. En dichos programas es habitual caracterizar la organización de su estructura curricular en relación al componente científico, didáctico, pedagógico y socioambiental. En lo referente al componente científico se identifican asignaturas – también suelen denominarse cursos – en los cuales los estudiantes adquirirán las bases teóricas y experimentales de las ciencias (física, biología, matemática y química) (Gallego, Pérez, Gallego, & Torres, 2004).

Si relacionemos lo que se ha venido sustentando sobre la *HFC* con lo que se acaba de mencionar sobre las asignaturas que conforman el componente científico en general y de

química en particular, es importante y necesario identificar en los *PFICN*, cómo a través de sus explicaciones sobre diversas situaciones problemas de la química se pueden evidenciar las construcciones que lograron elaborar a través de su recorrido académico.

Una investigación desarrollada en función de lo anterior, fue la que llevo a cabo García-Arteaga (2011a). Uno de sus propósitos consistía en identificar las formas de explicación de los estudiantes sobre fenómenos electrostáticos. En sus hallazgos argumenta que en las explicaciones dadas por los estudiantes encontró dificultades conceptuales evidentes a la similitud con visiones históricas que han sido modificadas, utilización de lenguaje no significativo y realismo ingenuo de la carga eléctrica. Este antecedente es valioso en la realización de esta tesis porque abrió una puerta para el desarrollo de futuras investigaciones no solo para el caso de la física sino también para la biología y, como se propone aquí, para la química.

Siguiendo con esta línea argumentativa, también es importante destacar que los trabajos que se encuentran en la literatura investigativa corresponden en su mayoría al análisis de diferentes episodios históricos de la física (García-Arteaga & Estany, 2010; García-Arteaga, 2011a, 2011b) y muy pocos sobre el estudio de episodios históricos en química.

En los últimos años y gracias al llamado de atención y a la reivindicación del estudio histórico de las prácticas experimentales que hizo Ian Hacking en 1980 con su libro *Representar e Intervenir*, hizo que tanto historiadores, filósofos de las ciencias y algunos investigadores de educación en ciencias desarrollan propuestas con propósitos como: usar una variedad de experimentos históricos para explorar el aprendizaje de los estudiantes sobre la naturaleza de las ciencias (Cavicchi, 2008); hacer réplicas de experimentos históricos para que los estudiantes entiendan mejor el proceso mediante el cual los científicos los realizaban (Heering & Wittje, 2012; Heering, 2003, 2006; Metz & Stinner, 2006); acudir a los experimentos históricos permitiendo que la curiosidad se manifieste, para poder realizar variaciones procedimentales y usar materiales actuales (Chang, 2011b; Vera, Rivera, & Núñez, 2011).

Al igual que ellos, esta tesis doctoral realizará el análisis histórico crítico² de las prácticas experimentales y específicamente los experimentos, pero los planteamientos teóricos que la orientan proviene de investigadores como Ayala (2006) y García-Arteaga (2009) quienes sustentan que lo importante de dichos estudios no es profundizar en la búsqueda de definiciones, ni rastrear el origen o el inicio de una noción o concepto específico, ni menos identificar los obstáculos o el rechazo hacia una u otra teoría en disputa, en lugar de esto, lo que apoyan es la instauración de un diálogo con los científicos por medio de los *TCH* que escribieron y que desde una mirada educativa, conlleven a una construcción intencionada que permita realizar nexos con el conocimiento común.

² La ampliación teórica del análisis histórico crítico se encuentra en el numeral 5.3.3.

Podemos utilizar lo anterior como un argumento contundente para los propósitos de esta tesis ya que muestra un panorama prospero para la realización de investigaciones en las que se acuda al análisis histórico crítico de las prácticas experimentales en ciencias, en general, y la experimentación química, en particular, como un mecanismo, que contribuya a la identificación de contenidos de la química y hacia el mejoramiento de la formación de los futuros profesores en ciencias naturales.

2. JUSTIFICACIÓN

La realización de esta investigación adquiere significado en la medida que se integran los siguientes tres pilares.

El *primer pilar* corresponde al uso de la *HFC* en la educación en química. El uso de estas dos metadisciplinas ha sido importante para la selección de contenido de ciencias (Rengifo & Zambrano, 2009; Zuluaga, 2012), su contribución ha sido para mejorar el conocimiento de la estructura de las ciencias que a la postre dará elementos al investigador para la selección de contenido *de y sobre* ciencias, mediante el cual se presente a las ciencias como una empresa cultural con implicaciones sociales, facilitan el diseño de actividades, promueven actividades a partir del contexto al cual pertenecen (Matthews, 1991; Quintanilla, Izquierdo, & Adúriz-Bravo, 2005; Seroglou & Adúriz-Bravo, 2012).

En términos generales, la *primera justificación* radica en que a través del uso de la *HFC* desde su función complementaria para la educación en ciencias en general y la química en particular, se puede valorar como una herramienta mediante la cual el investigador de esta tesis realizará un análisis histórico crítico de los experimentos asociados a la combustión que realizaron diferentes científicos, los cuales, interesados en solucionar problemas propios de su contexto se dieron a la tarea de diseñar, proponer y sustentar modelos y experimentos que de una u otra manera darán luces sobre ese fenómeno. El análisis consiste en entablar un dialogo con los científicos alrededor de los experimentos que realizaban, como idea fundamental se defiende que en ellos están presentes el modelo fenoménico, el modelo instrumental y el procedimiento material (Pickering, 1989), lo cual permitirá formular aportes que sirvan para el diseño de la propuesta programática alterna para la enseñanza de la química.

El primer uso que se le dio en esta tesis a la *HFC* como una herramienta para la educación en química, fue valorar y utilizar los hallazgos del análisis realizado, en la elaboración del cuestionario que fue aplicado a los *PFICN*. Es aquí donde emerge el *segundo pilar* de esta tesis doctoral: considerar como fuente de información las explicaciones de los futuros profesores en ciencias naturales ya que a través de ellas se puede caracterizar el conocimiento químico que ellos adquirieron a través de la información recibida en las asignaturas de química.

En el campo de la educación en ciencias es ampliamente reconocido el estudio sobre el razonamiento espontáneo (Viennot, 1978), ideas previas (Bello, 2004; Campanario & Otero, 2000), esquemas alternativos (García-Hourcade & Rodríguez de Avila, 1988), ideas intuitivas (Solis Villa, 1984), ciencia del alumno (R. Osborne & Freyberg, 1998) y marcos alternativos (Greca & Moreira, 1998) sin importar el nombre que se les asigne, lo que es importante y valorativo resaltar de todas ellas, es que argumentan, que los estudiantes sin importar su condición, raza y estrato, no llegan al aula sin información que les permita

elaborar explicaciones. Por ello, se hace significativo identificar esa información y sobre todo reconocer que el estudiante como sujeto de aprendizaje debe participar activamente en los procesos que se realizan al interior del aula

Las investigaciones anteriores estuvieron focalizadas específicamente en estudiantes de educación básica y media (Caamaño, 2006a, 2006b), pero, gracias a sus resultados, en los últimos años se ha dado un leve giro hacia los profesores de ciencias que están en ejercicio y los que apenas están iniciando su formación. Por ello, podemos identificar en la literatura trabajos focalizados en las creencias y concepciones de estos profesores sobre la historia de las ciencias, la filosofía de las ciencias, la naturaleza de las ciencias, el uso de libros de texto, entre otros (Delgado & García, 2006; Mellado, 2001; Ruiz-Medina, Martínez, & Parga, 2009; Sánchez, 2005; Valbuena, 2007).

Destaquemos que en cualquier nivel educativo – primaria, secundaria y universitaria – existe la tendencia de asumir la explicación como una finalidad de la enseñanza o como una herramienta que en las clases de ciencias los profesores utilizan para identificar que los estudiantes han comprendido los hechos, los conceptos y modelos (Eder, 2005), dos ejemplos contundentes de su importancia lo ofrecen PISA (*Programme for International Student Assessment*), que en la actualidad es el principal referente utilizado para por los gobiernos de los países para sustentar las decisiones y políticas públicas de sus niveles educativos. Para este Programa la explicación es un procedimiento que hace parte de las competencias científicas mediante la cual los estudiantes describen o interpretan los fenómenos científicamente y aplican el conocimiento de la ciencia a determinadas situaciones que se les presentarán en la vida adulta (OCDE, 2009) y el trabajo ampliamente citado de Jorba, Prat, & Gomez (2000), donde argumentan que mediante la explicación se hace comprensible un fenómeno, un resultado o un comportamiento a alguien, para ello deben producir razones que establezcan relaciones sobre las causas.

De acuerdo a lo anterior, focalizarse en el estudio de las explicaciones sería desarrollar una investigación doctoral, por ello, es necesario aclarar que en esta tesis se acude a ellas específicamente como fuente de información que permitió caracterizar el conocimiento, la experiencia y el lenguaje como tres dimensiones que se expresan en las respuestas y explicaciones³, esto se sustenta porque en la medida que estas dimensiones estén articuladas, mayores serán las razones que utilizarán (Sanmartí, Izquierdo, & García, 1999).

Considerar las explicaciones (respuestas) de los *PFICN* como fuente de información significó para esta tesis tener en cuenta la manera como articularon la información suministrada a través de las diferentes asignaturas de química que aprobaron en su programa académico, por ello no se avanzó hacia el establecimiento de tipos de explicaciones porque no fue uno de los objetivos específicos.

³ La ampliación de estas ideas se encuentran en el capítulo 4.2.2 del marco teórico.

Con los párrafos anteriores se puede elaborar el sustento que contribuye en la elaboración de la *segunda justificación*, es decir, se espera que a través de un estudio como este caracterizar la articulación o desarticulación del conocimiento, la experiencia y el lenguaje en las explicaciones (respuestas) elaboradas por los futuros profesores de ciencias naturales sobre la combustión. Nótese que no se está haciendo referencia a errores conceptuales. Esto es fundamental reconocerlo y tenerlo en cuenta, porque lo que se busca con el estudio de estas explicaciones es asumirlas como un referente que hay que reconocer y valorar a la hora de diseñar propuestas programáticas.

Y el *tercer pilar* concierne al diseño de una propuesta programática alterna para la enseñanza de la química a los *PFICN*. Al reflexionar sobre el conocimiento químico que adquieren este tipo de profesores en las diferentes facultades de educación, se identifica que en las asignaturas que hacen parte del componente científico químico la tendencia es incluir exclusivamente aspectos conceptuales y limitado al dominio de las definiciones de los conceptos, promoviendo en ellos una visión fragmentada entre conceptualización y experimentación y sobre todo no se reconocen ni valoran los contextos en los cuales estos profesores llevarán a cabo la práctica educativa, es decir, no se hace una conjunción con las necesidades escolares a las que ellos deberán responder. Por ello, una de las acciones que es importante resaltar es aquella que se dirija hacia la superación de la falta de un conocimiento de la materia, la razón principal de esta acción radica en que al ser insuficiente este conocimiento, los profesores recurren a la simple transmisión, y evitan las estrategias de indagación, que requieren una comprensión más profunda (Del Pro, 2001; Vilches & Gil, 2007).

El panorama anterior se convierte en una oportunidad y principalmente en un reto para realizar una investigación como esta, de la cual se esperarían resultados, en este caso dirigidos hacia el diseño de una propuesta alterna de enseñanza de la química, mediante la cual se inicie el nexo entre lo que se realiza al interior de las asignaturas del componente científico con el discurso que se ofrece en las asignaturas del componente didáctico, pedagógico y socioambiental. Con lo que se ha presentado hasta el momento sobre este tercer pilar, podemos formular la *tercera justificación* por la cual se sustenta esta tesis doctoral, es decir, es urgente y necesario el diseño de una propuesta programática alterna para la enseñanza de la química de los futuros profesores de ciencias naturales.

Como vimos en los antecedentes, se han ido elaborando propuestas programáticas de enseñanza de la química en secundaria en diferentes países, por lo tanto, este es el momento apropiado para iniciar con propuestas programáticas de enseñanza de la química universitaria que influya en los futuros profesores de ciencias.

La justificación que se ha elaborado hasta el momento adquiere mayor importancia si se hace referencia al contexto en el cual se va a realizar. En este sentido, se acudirá particularmente a lo que ocurre al interior de una Licenciatura en Educación Básica en Ciencias Naturales y Educación Ambiental que se ofrece en la Universidad del Valle, programa académico que

pertenece al Área donde me desempeño como docente. Por ello a continuación se enumeran algunas de sus características principales que la hacen un contexto privilegiado para llevar a cabo esta investigación.

La estructura curricular de esta Licenciatura está basada en el modelo simultáneo ya que “combina la formación en una determinada área del conocimiento con la fundamentación pedagógica” (Ministerio de Educación Nacional, 2012). Un modelo simultáneo implica entonces que el profesor en formación inicial debe ver en el transcurso de su licenciatura cursos o asignaturas correspondientes a la disciplina o énfasis que haya seleccionado (Biología, Química, Física y Matemática) y además, deberá sumar paralelamente asignaturas del componente pedagógico, didáctico y socioambiental.

Esta Licenciatura tiene como propósito primordial formar permanentemente a los educadores de la región en la enseñanza de las ciencias naturales y en la educación ambiental, para ello, brinda una formación básica y fundamental en las problemáticas pedagógicas y científicas relacionadas con la formación⁴. Su estructura curricular vincula cuatro tipos de conocimientos: Socio-Ambiental, Científico, Pedagógico y Didáctico. En el caso del conocimiento científico, las disciplinas científicas que lo conforman son: biología, física, matemática y química.

Para adquirir lo correspondiente al conocimiento químico, los *PFICN* deben matricular una serie de cursos o asignaturas, por ejemplo, Química I y II, Laboratorio de química general, Principios de química orgánica general y Principios de química ambiental. La idea que sustenta su inclusión en la estructura curricular, es que a través de ellas los *PFICN* adquirirán el conocimiento químico, el cual posteriormente se convertirá en el objeto de estudio sobre el cual orientarán sus clases.

Es ampliamente conocido que esas asignaturas de química están basadas explícitamente en la enseñanza de los contenidos conceptuales de química (Contreras & González, 2014; Mosquera et al., 2003). Su selección, organización y secuenciación coincide en la mayoría de los casos con la información que tienen los libros de texto universitario o de la experiencia y formación que haya tenido el profesor universitario que tenga a cargo el curso. Como lo sustenta Caamaño (2006, p. 2) “hay un énfasis excesivo en enseñar “hechos”, que restringe la capacidad de los profesores y estudiantes para explorar de forma creativa enfoques actuales de aprender ciencias” y más adelante manifiesta “los contenidos conceptuales de química se presentan frecuentemente descontextualizados de las evidencias experimentales, de su génesis histórica y de sus aplicaciones en la vida cotidiana” (pp. 3).

De estas dos citas detengámonos en lo siguiente: “enseñar “hechos” y “descontextualización de su génesis histórica”. Estas dos características, por llamarlas de alguna manera, han marcado la enseñanza tradicional, han trascendido la manera de seleccionar el contenido químico por parte de los profesores universitarios, es decir, ellos al desconocer el valor que

⁴ La mayor parte de la información fue tomada del Registro Calificado de la Licenciatura.

puede llegar a tener la historia y la filosofía de la química, lo único que hacen es secuenciar un contenido químico que previamente ha sido seleccionado y que aparece explícito en los libros de texto universitarios de química. Esta forma de proceder, ha conducido a la enseñanza de la química hacia una linealidad en la que solo importa el dictado, definición de conceptos y resolución de ejercicios químicos.

Al finalizar y aprobar las diferentes asignaturas se esperaría que los *PFICN* tengan la capacidad de realizar explicaciones sobre cualquier objeto de estudio, en este caso, sobre la combustión, en las que se evidencie el uso de conceptos, modelos y teorías que conforman el conocimiento químico adquirido. De aquí surge la pertinencia y necesidad de realizar un análisis profundo de dichas explicaciones para determinar las formas de explicaciones alrededor de la combustión.

De acuerdo a todo lo anterior, se estaría dando un paso fundamental y necesario hacia la preparación de los futuros profesores de química, ya que habría una sincronización entre lo que se realiza en las clases de química universitarias con los discursos que se promueven en las clases que hacen parte de los componentes didácticos, pedagógicos y socioambientales (Contreras & González, 2014).

En todo lo que se ha presentado hasta el momento, esta tesis doctoral, tiene como objeto de estudio: la combustión. Dos de los criterios que se tuvieron en cuenta para seleccionarlo, fueron los indicados por Justi (1997): 1. Importancia histórica de la combustión dentro del conocimiento químico. 2. Las investigaciones educativas sobre la combustión que previamente se han realizado.

1. En cuanto a la importancia histórica de la combustión dentro del conocimiento químico se puede decir que a través de su comprensión, se dio un paso importante para entender las transformaciones que ocurrían en la materia, ofrecía las bases para explicar por qué ciertas reacciones ocurrían o no ocurrían, fue el objeto de estudio por excelencia sobre el cual Boyle, Hooke, Mayow, Stahl, Scheele, Priestley, Cavendish y Lavoisier realizaron diferentes investigaciones para explicarlo (Brock, 1998; Ihde, 1984; Leicester & Klickstein, 1952; Leicester, 1967).
2. Como vimos en los antecedentes, a la fecha las investigaciones educativas que previamente se han realizado sobre la combustión han acaparado diferentes frentes, por ejemplo, estudios sobre las concepciones y explicaciones de los estudiantes sobre la combustión (Watson, Prieto, & Dillon, 1995), propuestas de enseñanza de la combustión (Ariza & Parga, 2011; F. M. Lorenzo et al., 1987; Valanides, Nicolaidou, & Eilks, 2003), uso de la historia y filosofía de la combustión para la enseñanza (Cabrera, 2010b; Paixao & Cachapuz, 2000), investigación sobre los profesores en formación inicial en ciencias naturales (Jong, Ahtee, Goodwin, Hatzinikita, & Koulaidis, 1999; Lin, Lin, & Tsai, 2013; Membiela & Vidal, 2005).

Por otra parte, la principal justificación para la realización de este trabajo fue la siguiente: en un trabajo que previamente realicé sobre el uso de la *HFC* para la identificación de elementos

útiles para la enseñanza de la combustión, propuse dos proyecciones para futuras investigaciones: 1. Identificación de la perspectiva sobre el significado científico del concepto combustión, es decir, se proponía el análisis de libros de textos universitarios, ya que ellos son reconocidos como el material curricular más utilizado en las clases por profesores y estudiantes para la selección de contenido y la realización de consultas respectivamente. 2. Analizar las explicaciones de los *PFICN* que habían logrado construir sobre la combustión (Cabrera, 2010b).

Para el caso del análisis de los libros de texto universitarios, en el año 2012 efectué el análisis de cinco textos universitarios tomando como referencia las siguientes preguntas ¿Cómo estaban organizados los libros de texto universitarios? ¿Cómo presentan la relación entre los conceptos combustión, calcinación, corrosión, respiración, reducción y oxidación? ¿Cómo se plantean las preguntas? ¿Qué tipo de experimentación proponen? Los resultados indicaron que el concepto combustión había perdido protagonismo y había quedado relegado, por no decir olvidado, a la presentación básicamente de la ecuación $CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$, no se hacía referencia a la relación de los conceptos combustión, calcinación, corrosión, respiración, reducción y oxidación. En términos generales se desconocía la importancia histórica que tuvo para el desarrollo de la química este concepto (Cabrera, 2012a).

Finalmente, para completar las indicaciones que se daban en los estudios de 2010 y 2012, esta investigación profundizará en los núcleos temáticos a través del análisis histórico crítico de la combustión y se complementará con la caracterización de las explicaciones como fuente de información del conocimiento químico adquirido por los *PFICN* cuando se les indaga sobre combustión, para obtener como producto final una propuesta programática alterna para la enseñanza de la química.

3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Preguntas de investigación

Tomando en consideración lo que se ha sustentado hasta el momento, el problema de investigación de esta tesis tiene tres ejes: I. La identificación de los aportes del estudio histórico filosófico de la experimentación asociada a la combustión. II. La caracterización de las explicaciones como fuente de información del conocimiento químico adquirido por los *PFICN*. III. El diseño de una propuesta programática alterna para la enseñanza de la química de los *PFICN*.

De acuerdo a lo anterior, la pregunta que orienta esta investigación es:

¿Qué aporta a la enseñanza de la química el estudio histórico filosófico de la experimentación química para profesores en formación inicial?

Para delimitar la pregunta anterior al estudio de caso seleccionado, se formulan las siguientes preguntas:

- A. ¿Qué aportes del estudio histórico filosófico de la experimentación asociada a la combustión se deben tener en cuenta para la enseñanza de la química?
- B. ¿Qué aspectos incluir en una propuesta programática alterna para la enseñanza de la química que incorpore el estudio histórico filosófico de la experimentación?

3.2. Objetivos

3.2.1. Objetivo general

Formular aportes para la enseñanza de la química a partir del estudio histórico filosófico de la experimentación química para profesores en formación inicial.

3.2.2. Objetivos específicos

- A. Realizar el estudio histórico filosófico de la experimentación asociada a la combustión.
- B. Caracterizar las explicaciones como fuente de información de los profesores en formación inicial en ciencias naturales sobre la combustión.
- C. Diseñar una propuesta programática alterna de enseñanza de la química para profesores en formación inicial de ciencias naturales.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Enseñar y aprender ciencias en la actualidad

Los sistemas educativos en la actualidad reconocen la importancia y el valor que tiene para todas las personas la apropiación del conocimiento científico. Apropiarse de este conocimiento significa que hay que trascender la visión tradicional e irreflexiva del uso de las ciencias, marcada por un adoctrinamiento y de alcance limitado a la hora de resolver problemas cotidianos. Como propuesta alternativa se proyecta que las personas a través de ese conocimiento elaboren representaciones y acciones sobre los diferentes contextos a los que pertenecen, y sobre todo que faciliten el análisis de las situaciones y problemas con las que cotidianamente se enfrentan.

Con el propósito de que las personas apropiarse el conocimiento científico, se espera que los diferentes centros educativos (escuelas, colegios y universidades) cumplan cabalmente esa función. Sin embargo, las clases que se imparten en esos centros, permiten evidenciar que enseñar ciencias se limita al proceso mediante el cual el profesor dicta contenidos conceptuales que carecen de valor para los estudiantes que los están recibiendo. Esta evidencia, hace parte de lo que en la literatura especializada – en el campo de la educación en ciencias – se conoce como *enseñanza tradicional de las ciencias*.

Esta *enseñanza tradicional* tiene una fuerte relación con el paradigma positivista donde lo único que importa es la lógica de las disciplinas científicas, el estudio de los productos (modelos explicativos, conceptos, leyes, teorías), se pretende reducir las teorías existentes a una sola, no se da importancia a las explicaciones científicas, el método científico es el único elemento para validar el conocimiento y el desarrollo de las ciencias es visto como un progreso lineal, continuo y acumulativo (Vázquez, Acevedo, Manassero, & Acevedo, 2001).

La relación anterior ha marcado considerablemente este tipo de enseñanza y es así que investigadores como Gil (1983), Pozo & Gómez Crespo (1998), Mora (1999), Campanario (1999) y Jiménez (2000) logran caracterizarla como aquella en la que:

- El proceso de enseñanza y aprendizaje gira principalmente en función de los profesores.
- Las clases de ciencias están limitadas por el método expositivo, la resolución de ejercicios que aparecen en los libros de texto, el uso mecánico de ecuaciones.
- Se centra exclusivamente en los contenidos conceptuales, así que lo único que importa son los datos, las ecuaciones, la matematización.
- No hay una problematización alrededor de los contenidos y se dan por hecho su validez.
- La finalidad es abordar la mayor cantidad de contenido conceptual en el menor tiempo posible, sin permitir la profundización en aquellos de mayor importancia.
- Los contenidos tienden a ser de carácter acumulativo propensos a la fragmentación y no se tienen en cuenta las concepciones e intereses de los estudiantes.

Las características anteriores han contribuido a la desnaturalización de la función de los profesores y la subestimación de los estudiantes dentro de la actividad académica que se lleva a cabo en el aula de clases, en este sentido, los investigadores en educación en ciencias se han propuesto formular opciones (investigación dirigida, resolución de problemas, formulación de proyectos) que han logrado conformar la *enseñanza alternativa de las ciencias*.

En este sentido, la *enseñanza alternativa* está vinculada en el paradigma constructivista⁵ el cual sustenta que los logros en la ciencias dependen de las capacidades específicas y la experiencia previa, se configura a partir de los problemas que presentan los sujetos para comprender las ciencias y buscar apoyo en la epistemología científica (Barreto, Gutiérrez, Pinilla, & Parra, 2006), además, se diferencia de los positivistas al considerar que la observación está cargada de teoría y no existe un único método científico, las teorías científicas que se construyen corresponden a cada uno de las comunidades científicas que las elaboran (Niaz, 2001).

En este caso, Pozo & Gómez Crespo (1998), Mora (1999), Campanario (1999), Jiménez (2000), Bustos (2002) y Ruiz (2007) caracterizan a la *enseñanza alternativa de las ciencias* como aquellas que:

- Reconoce los cambios evolutivos, el carácter abierto y complejos de los problemas educativos.
- Los estudiantes participan activamente en la clase a través de diversas actividades (realización de experiencias, resolver problemas, elaboración o aplicación de los conocimientos).
- Diagnostica problemas, necesidades, intereses y recursos del entorno al que pertenecen los estudiantes a los que se les va a enseñar.
- El profesor investiga y reflexiona sobre su acción para transformarla.
- Existe una integración entre las distintas formas de conocimiento, tipos de contenido y se propende por el trabajo a través de problemas.
- Los contenidos están ajustados a la lógica didáctica y se organizan de tal manera que potencian la evolución del conocimiento de los estudiantes.
- Reconoce la necesidad de acercar los contenidos al contexto de los estudiantes, con el propósito de valorar a los conocimientos a partir de las experiencias y vivencias que los estudiantes llevan al aula de clase.

Para el caso de esta tesis, las características de la *enseñanza alternativa de las ciencias* permitirá comprender que el conocimiento científico no debe quedar reducido únicamente a los modelos, leyes, teorías y conceptos, sino que se debe buscar una integración y valoración

⁵ Existen diversas teorías constructivistas que pueden estar ligadas a la epistemología, a la psicología, a la sociología, pero en nuestro caso nos ubicaremos a lo que corresponde a la didáctica de las ciencias (Bustos, 2002; Marín, Solano-Martínez, & Jiménez Gómez, 1999; Novak, 1988)

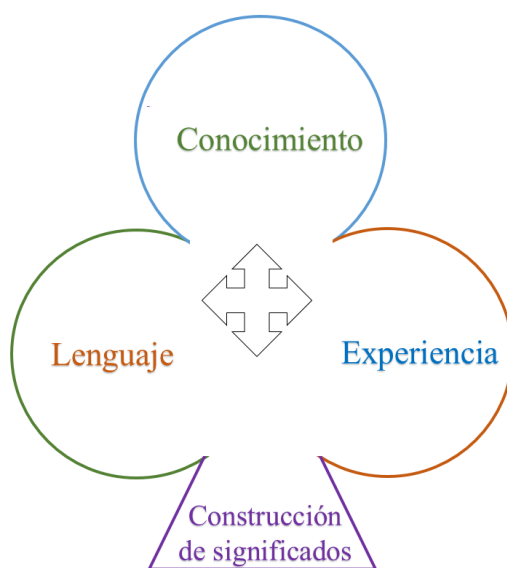
de las acciones y las cualidades de quienes los van a aprender, en este caso, los futuros profesores de ciencias.

De manera precisa, el enfoque de enseñanza de las ciencias al cual se adscribe esta tesis es el que García-Arteaga (2011a) denomina *construcción de significados* y que está fuertemente ligado a una perspectiva en la cual la actividad científica al hacer parte de una actividad humana y cultural, está continuamente en construcción, razón por la cual el uso de la teoría está acompañado de las formas de representación de los objetos de estudio y de la organización que los sujetos han logrado construir, argumentar y socializar.

La base fundamental de este enfoque es asumir “la ciencia como una actividad de organización de los fenómenos y la enseñanza como un proceso de recontextualización de los saberes” (García-Arteaga, 2011a, p. 39), donde los Textos Científico Históricos (a partir de ahora *TCH*) adquieren relevancia porque muestran problemáticas que posiblemente no hayan sido identificadas y que en la actualidad puedan recuperarse para la enseñanza de las ciencias.

En la Figura 1 podemos ver que en este enfoque existe una interacción entre conocimiento, experiencia y lenguaje, esta articulación adquirida a través del proceso que han transitado, debe evidenciarse en las explicaciones que los estudiantes y profesores elaboran sobre los fenómenos (Arcá, Guidoni, & Mazzoli, 1983). Esta articulación en ambos sujetos está marcado por el contexto social y cultural al que hacen parte, de esta manera, la enseñanza adquiere la función de mediar entre la cultura científica y la cultura de los grupos ajenos a ella (Ayala, Malagón y Guerrero, 2004, citado por García-Arteaga, 2011a).

Figura 1. Interacción de las categorías conocimiento, experiencia y lenguaje en la construcción de significados.
Fuente: elaboración propia



Desde los planteamientos de Arcá et al. (1983) y Arcá, Guidoni, & Mazzoli (1990) el conocimiento, la experiencia y el lenguaje son dimensiones que han sido estructuradas para comprender los fenómenos, las dinámicas sociales y culturales que componen los diferentes escenarios en los que se involucran los participantes en el momento de integrar los diferentes colectivos culturales, sociales, políticos, económicos, académicos, investigativos, educativos y científicos.

Estas tres dimensiones interactúan entre si y no se pueden desestructurar de manera jerárquica ubicando primero a uno y después a los otros, ya que estos coexisten y tienen una estrecha correspondencia, en otras palabras, “*experiencia* es aquello que se vive en la interacción directa con la realidad, conocimiento es aquello que viene como “desaprendido” de la realidad misma, y reconstruido, a través de un lenguaje, de manera autónoma” (Arcá et al., 1990, p. 28)

Estas tres dimensiones son evidentes en la medida que se llevan a cabo diálogos entre diferentes actores sociales, por ejemplo, en el caso específico de la enseñanza del conocimiento científico, en un escenario como el aula de clase de ciencias, los profesores iniciarán las explicaciones de los temas a sus estudiantes por medio de actividades que involucran el uso de conceptos y modelos científicos, esto estará acompañado del uso de símbolos, fórmulas, ecuaciones, gráficas y, todo esto es producto de las acciones que el profesor haya adquirido a través de su experiencia formativa. Así como en este ejemplo, *grosso modo* se identifica la articulación de las tres dimensiones, es importante que en las diferentes actividades que continúen realizando los profesores y estudiantes siga promoviéndose esta vinculación de manera progresiva y propositiva para que se potencie la integración.

Para aquellos investigadores que estamos involucrados en la formación inicial de profesores de ciencias, es necesario que existan estudios que tengan el propósito de favorecer en ellos la integración de dichas dimensiones, en este sentido, acudir a la historia y la filosofía de las ciencias adquieren un valor significativo ya que pueden cumplir una función complementaria para la educación en ciencias. La importancia de estas metaciencias radica en que a través de ellas logramos visualizar que la producción de conocimiento científico se da paulatinamente a través de procesos de socialización entre los participantes que comparten ideas y estilos de pensamiento proveniente de diversos colectivos.

El *conocimiento* y en particular el *conocimiento científico* y su conglomerado de procesos, técnicas, métodos, valores, actitudes, teorías, conceptos, modelos y leyes no son estáticos sino que son dinámicos y está en continua elaboración, replanteamiento y reformulación, además, sus bases y antecedentes por provenir de la actividad científica, significa que también derivan de la actividad humana (Concari, 2001; Sanmartí et al., 1999). Este conocimiento por ser una construcción social circulará entre los individuos y estos lo irán transformando de acuerdo a las relaciones y a la manera como lo interpretan, a lo largo de este proceso será el colectivo quien contendrá el contenido original, pero lo que circula en el medio son reformulaciones que influirán en la formación de conceptos, concepciones y hábitos de pensamiento (Fleck, 1986).

Es común que después de la aceptación del conocimiento científico se desconozca o se deja de lado la importancia del conocimiento cotidiano, y en la mayoría de oportunidades tiende a calificarse como descontextualizado, insustancial y de escaso poder explicativo, sin embargo, se nos olvida que históricamente algunas preguntas, problemas y fenómenos que afectan la cotidianidad son las que han promovido el desarrollo de diferentes investigaciones y con el tiempo han conllevado a la construcción de conocimiento científico (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982; Reif & Larkin, 1994). Este conocimiento cotidiano en los sujetos esta jerarquizado intuitivamente y lo han elaborado para explicar y entender fenómenos naturales, es más este tipo de conocimiento es difícil de erradicar y por lo general siempre hará parte del pensamiento e ideas de los científicos, aunque ellos quieran evadirlo e ignorarlo este siempre estará presente (Mazzitelli & Aparicio, 2010).

Tanto en el conocimiento científico como en el cotidiano, la circunstancia social de transformación continúa, la comunicación, dialogo, discusión, conversación y socialización con otros integrantes del contexto, generalmente se hace explícito y evidente a través del *lenguaje científico*. Dice Saavedra (2007, p.48) que éste es un lenguaje artificial compuesto de unas “exigencias lógicas, semánticas y de sintaxis” donde las teoría, modelos, hipótesis y leyes son instrumentos interpretativos que se expresan “dependiendo de la disciplina científica de que se trate”.

El uso constante, reiterativo y frecuente de las palabras les permite adquirir valor hasta evolucionar a términos ampliamente aceptados y validados por los colectivos y posteriormente acontece la transformación en un lenguaje que va modificando el significado inicial en la medida que se aplique a nuevas experiencias y su dominio permite la construcción de significados y las relaciones con otros conceptos e ideas (Lemke, 1997; Sanmartí et al., 1999), un complemento a esto es lo que dice Izquierdo (1996, p. 171) “el lenguaje se refiere a ideas sobre las cosas y no a las cosas, y unas mismas cosas pueden agruparse de manera diferente según diferentes “maneras de mirar”, dando lugar a diferentes disciplinas”.

Tenemos entonces que el lenguaje y en el caso específico del *lenguaje químico*, servirá para cumplir una función esencial en la construcción de ideas, modelos científicos y en la elaboración de explicaciones, por ello, “es necesario hablar, escribir y leer sobre las ideas, sobre las semejanzas y las diferencias, sobre las causas y sus efectos” (Márquez, 2005). La construcción del lenguaje químico está íntimamente relacionado con el proceso de representar, es decir, se utilizan conceptos que deben ser comunicables y socializados a todos aquellos que los requieran con el propósito de explicarle y hacerle entender el mundo lo que estamos observando y comprendiendo (Hacking, 1996; Kreimer, 2011). Aclaremos que el lenguaje químico le exige a los sujetos organizar su pensamiento y a continuación este se transformará en un vehículo de socialización que ayuda a razonar efectivamente sobre los aspectos científicos y los fenómenos naturales que están conectado con temas, asuntos o proyectos particulares (Cabré, Freixa, Lorente, & Tebé, 1998; Lemke, 1998, 2006).

Como vemos en la Figura 2, Jacob (2007, p. 128) plantea que en el lenguaje químico se destaca la interconexión entre algunos niveles, ellos son:

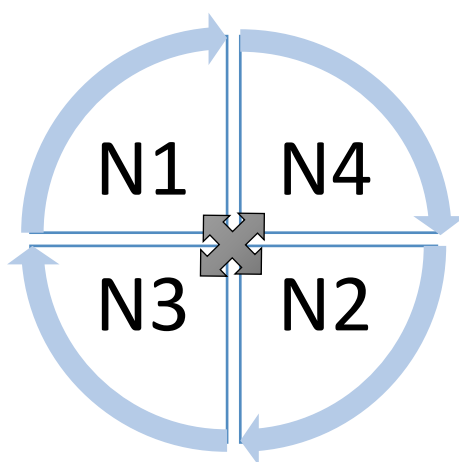
El nivel inicial del lenguaje químico contiene los símbolos químicos (N1) para las sustancias y, a primera vista, se asemeja apenas a un lenguaje moderno. El simbolismo químico tiene sus muy particulares reglas con respecto al uso operacional de los símbolos.

El segundo nivel (N2) proporciona un vocabulario que permite a los profesionales de la química hablar de las sustancias en general.

El tercer nivel del lenguaje químico (N3) contiene los términos que se utilizan para discutir “abstractors” tales como “elemento” y “compuesto” (según lo definido en el segundo nivel) como parte de leyes, modelos, y teorías en un contexto general.

El lenguaje, en el cuarto nivel (N4), es el lenguaje de la filosofía. Incluye los problemas sintácticos y semánticos determinados.

Figura 2. Niveles del lenguaje químico según Jacob (2007). Fuente: elaboración propia



De manera sintética el lenguaje químico incluye:

El *alfabeto químico* utilizado consiste en aproximadamente 110 símbolos que representan los elementos químicos conocidos. Los símbolos elementales se pueden combinar en una fórmula química (p.ej. “ $NaCl$ ”) y en una ecuación (p.ej. “ $2Na + Cl \rightarrow 2NaCl$ ”). Estas combinaciones de símbolos siguen un conjunto de *reglas formales*, comparables a las reglas que gobiernan la formación de palabras y de oraciones en un “lenguaje modelo”, y serán definidas como *sintaxis química*. La sintaxis química considera reglas empíricas con respecto a la “valencia”, el “estado de oxidación”, la “electronegatividad”, la “afinidad” o los “mecanismos de reacción” que se discuten en la teoría química (Psarros 1996). Es posible distinguir entre una *ortografía química* y una *gramática química*. La *ortografía química* proporciona las reglas que gobiernan la combinación de símbolos elementales a las fórmulas químicas (p.ej. valencia, estado de la oxidación). Determina qué símbolos elementales pueden ser combinados, en cuáles relaciones y cómo. La *gramática química* proporciona las reglas que gobiernan las ecuaciones de reacción. Determina los coeficientes estequiométricos (en las ecuaciones “balanceadas”), el uso de una flecha unidireccional o de una de equilibrio, y

las “condiciones de reacción” (p.ej. disolvente, temperatura). La ortografía y la gramática químicas se relacionan una con la otra (Jacob, 2007, p. 130).

En la educación en ciencias es habitual identificar un dialogo continuo entre los profesores y los estudiantes, durante este dialogo es evidente el uso continuo de términos científicos, mediante las cuales se establecerá una comunicación constante y una comprensión de las representaciones inherentes al conocimiento que aprenderán. En el caso de la educación en química sucede algo semejante ya que es pertinente y necesario que tanto los profesores como los estudiantes adquieran esos términos químicos que corresponden aquella porción de la realidad que están estudiando, analizando o investigando (Martín-Díaz, 2013). En el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias la construcción de las ideas pone en evidencia el valor significativo del lenguaje ya que promueve la apropiación de nuevas formas de ver, pensar y hablar sobre los hechos y fenómenos (Sanmartí, 2007; Sutton, 2003).}

De acuerdo a lo anterior, los términos “puede tratarse de una palabra del lenguaje general que adopta un sentido especializado, una palabra creada con un sentido especializado, un sintagma o grupo de palabras con un sentido único y especializado, un símbolo, una fórmula química o matemática, un nombre científico en latín o en griego, un acrónimo, una sigla, la denominación o título oficial de un cargo, organismo o entidad administrativa” (Marinkovich, 2008, p. 121), es decir, que los términos son unidades dinámicas que tienen un poder mediador que da sentido al entorno social, cultural y natural con el propósito de posibilitar la comunicación entre los integrantes de una comunidad y que pueden “pasar” de un campo de especialidad a otro (Cabré, 2002).

Diferencio entre término y concepto, ya que el primero es una denominación normalizada que utilizan los sujetos para “rotular” el mundo, mientras que el segundo corresponde a una construcción cognitiva que realizan los sujetos para comprender y entender el mundo, al respecto dice Cabré (2002) que los conceptos establecen por consenso el conjunto de características más comunes que representarán un segmento de la realidad y que los términos eliminan la variedad denotativa en favor de una referencia única.

Daré lugar ahora a los planteamientos de Hacking (1996), según él es importante resaltar la intervención, la cual debe ser entendida como aquellas acciones y procedimientos en los cuales se evidencia el conocimiento y el lenguaje adquirido y que cumplen la función de realizar adecuaciones, ajustes y modificaciones mediante las cuales se logre transformar el estado o condición inicial de lo que hayan aprendido y que posteriormente podrá ser descrito, explicado, justificado y argumentado. Las interacciones al interior de los colectivos son las que favorecen la construcción de las experiencias, las cuales después buscaremos explicar y el lenguaje será el sitio donde se representa (Scott, 2001).

En las ideas anteriores, podemos identificar que el siguiente paso fundamental que completa la triada de las dimensiones es lo que se denomina *experiencia*. Para los propósitos de esta tesis esta dimensión es comprendida como todas aquellas acciones que realiza el profesor en formación inicial de ciencias. Una de esas acciones está ligada con las actividades prácticas orientadas hacia la comprensión de los fenómenos y hechos, por ejemplo, observar cambios

perceptibles en las reacciones químicas (cambio de color, desprendimientos de un gas, formación de un precipitado) (Caamaño, 2004).

La experiencia debe concebirse como “un proceso de entrenamiento intelectual, basado en una acción recíproca entre el cognoscente, lo ya conocido y lo por conocer... es esta la que capacita para conocer, para hacer suposiciones y la práctica manual y mental forman, junto con el saber experimental y no experimental, el saber claramente concebido y el “instintivo” de un investigador, lo que llamamos adquisición de experiencia” (Fleck, 1986).

En el caso de la combustión estas tres dimensiones – que más tarde en la metodología serán denominados categorías – estuvieron presentes continuamente en las diferentes explicaciones que realizaban científicos como Boyle, Priestley y Lavoisier. Tomemos el caso de Lavoisier, en su contexto y época existían necesidades asociadas con la explicación y comprensión del fenómeno de la combustión y calcinación de los metales, sus experiencias a diferencia de las de sus predecesores estaban apoyadas en una sistematización y consignación numérica de los datos, esta situación favoreció acciones como la formulación de preguntas e interrogantes partiendo de lo que conocía y que no coincidían con lo que estaba por conocer, por lo tanto, para él las ideas que previamente se habían elaborado no coincidían con los hechos y datos que obtenía a través de sus experiencias en el laboratorio.

El panorama anterior condujo a Lavoisier a elaborar nuevas ideas – como la de la oxigenación y la del calórico – que le permitieran explicar los hallazgos que obtenía, sumado a esto, fue necesario complementarlo con la reestructuración del lenguaje – que mantenía características y conexiones provenientes de la alquimia – que utilizaban los químicos y farmaceutas para comunicarse. Esta reestructuración se materializó y oficializó a través de una revista especializada como los *Annales* y por medio su libro *Método de Nomenclatura Química*, gracias a este ajuste, en la actualidad leer, hablar y escribir sobre “ácido clorhídrico” en química es normal y no exige ningún tipo de crítica, ahora bien, si a alguien se le ocurriera hacer referencia a “espíritu de la sal” no lo comprenderían e inmediatamente sería criticado y catalogado de desactualizado.

En este ejemplo se logra identificar que el conocimiento, la experiencia y el lenguaje están continuamente articulados y que los tres tienen un fuerte vínculo que permite ante todo socializar y comunicarse entre los diferentes integrantes de un colectivo. Por ello en el caso de la formación inicial de profesores de ciencias los profesores investigadores interesados en este proceso debemos diseñar actividades que incluyan experiencias mediante las cuales ellos puedan construir conocimiento y a la vez que tengan la capacidad de expresarlo a través de diferentes lenguajes.

Profundizando en la coherencia entre conocimiento, experiencia y lenguaje se puede indicar que cuando hay una sincronía entre ellas, los *PFICN* lograrán “hacer lo que se piensa y decirlo de tal manera que transforma tanto lo que se ha hecho como lo que se ha pensado... para poder actuar y pensar de nuevo” (Izquierdo, 2005c, p. 115). Pensar, actuar y hablar serían los procesos que debería promoverse continuamente en cualquier propuesta

programática para la enseñanza de las ciencias que haga parte de la formación inicial de profesores de ciencias naturales. La reflexión en torno a los aspectos que se acaban de señalar sumado a los hallazgos de esta tesis, nos permite expresar que es el lenguaje el intermediario entre el conocimiento y la experiencia, por ello, en toda experiencia que se vaya a realizar o ejecutar será el lenguaje el que permitirá hacerlo pensable, a su vez, en el conocimiento que se haya adquirido y se vaya a enseñar será el lenguaje el que permitirá hacerlo comunicable (Izquierdo, 2013).

Sumado a lo anterior, es pertinente y necesario destacar otro aspecto teórico fundamental e indispensable para el diseño que más adelante se esbozará (capítulo 7). Este aspecto corresponde a lo que investigadores como Merino (2009), García-Arteaga (2011) y sobre todo Izquierdo (2005, 2006, 2007, 2014) en los últimos 15 años han promovido y divulgado en el campo de la didáctica de las ciencias como los elementos de una *teoría de los contenidos* que aunque se han elaborado algunos avances, aún requiere arduos estudios para su consolidación y ejecución en el amplio espectro de la educación básica, media y superior y de esta última enfatizando en la formación inicial de los profesores de ciencias naturales.

Esta teoría de los contenidos se ha venido sustentando a partir de los aportes de investigadores como:

- White (1994, citado por Izquierdo, 2005, p. 116) quien la propone como una de las finalidades de la investigación en *Science Education*.
- García-Díaz (1998) planteó la necesidad de una reflexión sobre los contenidos para actuar en coherencia con las aportaciones de la didáctica de las ciencias y a las nuevas necesidades educativas, su propuesta estuvo orientada hacia la transición desde el paradigma científico y filosófico mecanicista y determinista hacia un paradigma sistémico, ecológico y complejo.
- Izquierdo, Sanmartí, & Espinet (1999) también desarrollaron una nueva propuesta de “ciencia escolar” fundamentada en un modelo cognitivo de ciencia.
- Parchmann et al. (2006) y Parchmann & CHIK-team 1 (2009) indican que en Alemania un producto del trabajo colaborativo entre profesores de bachillerato y profesores universitarios ha servido para diseñar el proyecto Chemie in Kontext para la enseñanza de la química en contexto y su esencia radica en valorar un aprendizaje basado en contextos, desarrollo de conceptos básicos y una variedad de métodos de enseñanza y aprendizaje.
- Otter (2011) hace referencia al proyecto Salters Advance Chemistry de Gran Bretaña que se caracteriza por un enfoque de currículo en espiral, en la cual la presentación de los conceptos químicos se realiza gradualmente, en los materiales se incluye un libro de 13 narraciones (Storylines), un libro de conceptos (Chemical Ideas) y un conjunto de actividades (Activities).
- En el panorama suramericano y específicamente en Brasil, se puede destacar el proyecto Química e Sociedade que está dirigido para la enseñanza de la química por medio de temas CTS (Caamaño, 2011b; dos Santos et al., 2009).

Estos proyectos son un indicio de lo que se ha realizado hasta el momento en educación en química para el contexto de la básica y la media, lo que se pretende es avanzar hacia el diseño de una propuesta programática orientada hacia la formación inicial de los profesores de ciencias en general y de la química en particular que estén encaminados en la misma dirección de los nuevos aportes que se han obtenido en el ámbito investigativo de la didáctica de las ciencias.

Considerar una teoría de contenidos para los y las *PFICN* significa que se debe visualizar la construcción de conocimiento no desde la manera rígida y dogmática como se han presentado tradicionalmente los conceptos sino que es importante permitirles que avancen hacia el planteamiento de preguntas a partir del estudio de situaciones problema que les exija analizar, intervenir y reflexionar sobre los “fenómenos y relaciones entre fenómenos que sean relevantes para comprender los temas científicos de actualidad” (Izquierdo, 2005c, p. 114).

De acuerdo a lo anterior, Halliday & Martín (1993, citado por Izquierdo, 2005, p. 116) dicen que es importante incluir, formular y diseñar propuestas que integren “lo teórico, lo experimental y lo lingüístico (lo que puede ser pensado, lo que puede ser hecho, lo que puede ser dicho) para que, en conjunto, se aprendan las ideas fundamentales de las ciencias gracias a una coherencia entre estas diferentes dimensiones” por ello así como en la historia de las ciencias y particularmente de la química, se debe buscar que los *PFICN* sean lo protagonistas de los episodios educativos en los cuales participaran.

En definitiva, basados en Izquierdo (2005, 2006, 2008, 2014) los elementos que hacen parte de una teoría de los contenidos que se deben tener en cuenta y que se relacionan entre sí, se orientan hacia los:

- *Objetivos o finalidades educativas*: condición *sine qua non* sobre la que versa el énfasis de la propuesta.
- *Núcleos temáticos*: corresponde a los conocimientos estructurantes que deben estar sincronía con los objetivos.
- *Criterios para conectar con otros conocimientos*: estructura, conecta e interviene nuevos fenómenos apropiados para una actividad autónoma de los estudiantes.
- *Procesos de justificación o procesos epistemológicos*: involucra e incorpora las actividades necesarias para la adquisición de conocimiento.

Finalmente, en los planteamientos teóricos de esta tesis doctoral se destacó que la actividad educativa científica tiene como enfoque fundamental la construcción de significados, en este, es evidente la articulación del conocimiento, la experiencia y el lenguaje, es decir, que los participantes cuando disponen de conocimientos sobre algún tema específico también dominan un lenguaje científico e incorporan habilidades provenientes de las acciones que realizan durante sus actividades (Márquez, 2005). Estos tres aspectos integrativos se manifiestan continuamente a través de procedimientos como la descripción, la explicación, la justificación y la argumentación.

Para el caso de la explicación de los profesores en formación inicial de ciencias, las razones que se elaboren estarán cargadas y precedidas del dominio de los diferentes modelos científicos que hayan adquirido durante su asistencia en las clases de química, física, biología y matemática; les suman las acciones que hayan realizado servirán para adquirir capacidades como la indagación, la formulación de preguntas, el desarrollo de procedimientos experimentales; y le adhieren el uso de términos científicos (símbolos, ecuaciones, fórmulas) que conforman la estructura conceptual del conocimiento disciplinar que adquirieron.

4.2. Retos para los profesores en formación inicial en ciencias naturales

En el panorama nacional colombiano, el sistema de formación de profesores, está ingresando en un proceso de reforma de los tres subsistemas que lo componen: formación inicial, en servicio y avanzada. Como se ha venido sustentando, el interés de esta tesis es la formación inicial de los profesores de ciencias naturales, por ello, a continuación se presentará la descripción analítica de algunos de los “nudos problemáticos” – como ellos los denominan – o retos y desafíos como se entienden aquí (Ministerio de Educación Nacional, 2012, 2013).

El Ministerio de Educación Nacional (2013, p. 69) considera este subsistema como el:

...proceso de formación cuyos referentes principales son la educación y la pedagogía, así como la comprensión analítica de cómo se suceden la enseñanza y el aprendizaje en el ser humano, de cómo aprender a enseñar, a construir conocimiento y a movilizar el pensamiento en los diferentes campos del conocimiento, a partir de una sólida fundamentación epistemológica, teórica y práxica, organizadas diacrónica y sincrónicamente, para alcanzar la titulación como profesional en educación.

Los referentes de esta cita coinciden con lo que plantean Sánchez & Valcárcel (2000) cuando justifican que el proceso de formación debe contribuir a los futuros profesores de ciencias en la superación de retos como: 1. Presentar los problemas, modelos, conceptos, leyes, teorías, historia y epistemología como atributos propios de la disciplina que orientarán en sus clases. 2. Brindar las bases fundamentales del conocimiento sobre el aprendizaje de las ciencias. 3. Reconocer la importancia de las concepciones de los estudiantes para orientar su aprendizaje.

Esto significa que los programas de formación deben estar a la altura de estas exigencias, de lo contrario, se deben proponer alternativas que conduzcan al cumplimiento de los mismos, es decir, vincular cuestiones relacionadas con para qué se enseña un contenido, de las estrategias para enseñarlo, de cómo lo comprenden los estudiantes, de la práctica y del currículo (Furió, 1989; Martín del Pozo & Rivero, 2001; Perafán, 2005; Porlán, Rivero, & Martín del Pozo, 1997, 1998).

Contextualizando la cita anterior, con uno de los objetivos de esta tesis, el primer reto corresponde al conocimiento de las ciencias en general y de la química en particular, el cual está íntimamente relacionado con la pregunta ¿Qué ciencias enseñar? El valor y significatividad de las particularidades que hacen parte de este reto, sirven para tomarse como

referencia para el diseño de una propuesta programática alterna de aquellas asignaturas que hacen parte del componente científico de los programas académicos. La inclusión de estas particularidades permitirá alcanzar satisfactoriamente la construcción de conocimiento científico, es decir, que estas asignaturas deben propender porque los profesores *conozcan los núcleos temáticos* de la materia a enseñar, y sobre todo que se integren y sean consecuentes con el discurso que hacen parte de los otros componentes.

Llevar a cabo un diseño de una propuesta programática de enseñanza de manera alternativa a la que tradicionalmente se ha realizado, sirve para justificar la caracterización de las explicaciones como fuente de información que proviene de los futuros profesores de ciencias como un segundo reto. Una manera de llevar a cabo este segundo reto consiste en proponer situaciones problema sobre algún estudio de caso de la química – que en el caso de esta tesis será sobre la combustión – mediante las cuales se vean en la necesidad de poner en juego el conocimiento científico, las acciones adquiridas y el lenguaje adquirido través de su formación profesional.

En los dos próximos apartados se ampliará cada uno de estos retos.

4.2.1. El conocimiento científico en los futuros profesores de ciencias

Al analizar la función que desempeñarán los *PFICN*, podemos identificar que en sus clases ellos tendrán como objeto de enseñanza el conocimiento científico, que junto a los estudiantes conforman el sistema didáctico (Chevellard, 1991). Aclaremos que el conocimiento científico incluye hechos, datos, conceptos, modelos explicativos y teorías (Contreras & González, 2014; Díaz & Rojas, 1992); acciones ordenadas que conducen a la consecución de un propósito en el que se evidencian procedimiento de investigación, destrezas comunicativas, de trabajo en equipo, entre otras (Arrieta, Marín, & Niaz, 2003; De Pro Bueno, 1998; García-Barros & Losada-Martínez, 2003; Insausti, 2000; Odetti, Ortolani, Falicoff, & Húmpola, 2003; Tenaglia, Alcorta, & Rocha, 2006); y las propiedades de la personalidad de cada individuo mediadas por los factores sociales (Díaz & Rojas, 1992; Soto & Guzmán, 2003).

Continuamente en esta tesis se reitera la importancia del conocimiento científico porque en la mayoría de los profesores es necesario que su formación les permita problematizar lo correspondiente a qué enseñar y para qué enseñar ciencias, este es un llamado de atención para que en ellos exista una preparación donde se destaquen los núcleos temáticos como un componente esencial para su desarrollo profesional ya que permite diferenciar cada una de las disciplinas a través del reconocimiento y valoración de su desarrollo histórico y que paulatinamente permitan establecer los posibles vínculos entre la ciencia, la tecnología, la sociedad, el ambiente, además de acercar los contenidos a los contextos a los que pertenecen estos profesores (Gil, Martínez, & Vilches, 2008; Gil & Vilches, 2008; Gil, 1991; Martín del Pozo & Porlán, 1999; Vilches & Gil, 2007).

Cuando los profesores tienen dificultades para dominar los núcleos temáticos, a menudo en su proceso de enseñanza de las ciencias omiten conceptos o temas, se ven obligados a depender exclusivamente de los libros de texto, se sienten inseguros y faltos de confianza cuando enseñen y no tienen la capacidad de identificar ni solucionar los errores conceptuales de sus estudiantes, sobrevaloran el contenido conceptual, los presentan como un listado de temas y no logran establecer relaciones con los otros contenidos (Márquez & Bonil, 2013; Martín del Pozo, Fernández-Lozano, González-Ballesteros, & de Juanas, 2013; Mellado, Blanco, & Ruiz, 1999). Esto significa que es importante que los profesores dominen la disciplina que van a enseñar, de no ser así, se continuará con la tendencia de reducir, fragmentar y distanciarse de ellos.

En este sentido Fumagalli (2001) es contundente al sustentar que en el momento que los futuros profesores de ciencias accedan al conocimiento científico deben articularse:

- “Modelos teóricos estructurantes de su campo de saber (¿cuáles son las teorías más relevantes en términos paradigmáticos?, ¿qué conceptos resultan centrales en el contexto de esas teorías?, ¿qué relaciones conceptuales pueden establecerse entre diferentes teorías dentro de ese campo de conocimiento?, ¿qué relaciones se pueden establecer con otros campos de conocimiento y con la sociedad?, ¿cuáles son los desarrollos científicos más recientes?).
- Estrategias empleadas para la producción de conocimientos en ese campo del saber (¿cuáles son las estrategias de investigación y los procedimientos que se emplean en ese campo disciplinar para producir los conocimientos?).
- Enfoque epistemológico o desarrollo histórico del campo de saber (¿cómo se construyó el conocimiento disciplinar en el decurso del tiempo?, ¿cuáles fueron sus principales momentos de ruptura?, ¿cómo se llegó a articular el campo de conocimiento en un cuerpo con coherencia interna?)” (pp. 81)

Si reconsideramos la importancia del dominio de los núcleos temáticos podremos identificar que la enseñanza de las ciencias va más allá de lo que normalmente se dictan en las clases. Al contrario, con lo que se ha sustentado hasta el momento, no cabe la menor duda que hay que incorporar la enseñanza sobre las ciencias. Por ello, los núcleos temáticos que se ofrezcan en las diferentes asignaturas del componente científico a nivel universitario deben seleccionarse de tal manera que permitan correlacionen los problemas, las dificultades y su correspondiente solución dentro del desarrollo histórico de la disciplina junto con el reconocimiento y valoración de los intereses y necesidades de los futuros profesores de ciencias.

4.2.2. La explicación como fuente de información de los futuros profesores de ciencias

No existe un acuerdo definitivo sobre el significado para la explicación, sin embargo, si se han elaborado algunas posturas:

- Las explicaciones no son sólo de algo sino para alguien, es así como el rango de posibles explicaciones que pueden elaborarse para responder preguntas depende del conocimiento capaz de explicar y el conocimiento asumido capaz de ser explicado (Edgington, 1997, p. 3).
- La explicación consiste en presentar razonamientos o argumentos estableciendo relaciones (deben hacer relaciones causales explícitamente) en el marco de las cuales los hechos, acontecimientos o cuestiones explicadas adquieren sentido y llevan a comprender o a modificar un estado de conocimiento (Jorba et al., 2000, p. 37).
- La explicación supone realizar un razonamiento en el que se pone de manifiesto las relaciones causa-efecto entre hechos o en el que se relaciona un hecho con una idea o con un sistema de ideas, con la finalidad de hacer comprensible dicho hecho. Se explica al responder a preguntas formuladas con ¿Por qué...? o ¿Cómo...? (Aragón-Méndez, 2007, p. 166)
- Las explicaciones consisten de un subconjunto de descripciones donde nuevas entidades o propiedades son traídas en si o inventadas para proporcionar una visión causal (J. Osborne & Patterson, 2011, p. 629).
- La explicación es una manifestación o revelación de la causa o motivo de algo (Real Academia Española, 2014).
- La manifestación es la acción o proceso de desarrollo de la causa u origen de un fenómeno; una declaración hecha para este propósito (Oxford University Press, 2014).

Las posturas anteriores sirven para sustentar que en esta tesis doctoral la explicación será asumida como una acción o procedimiento mediante la cual los profesores además de enumerar cualidades, propiedades y características de los núcleos temáticos, también logran establecer relaciones causales con el propósito de modificar el estado de conocimiento de sus estudiantes. Reconocer que la explicación es un procedimiento importante para los profesores significa que debe servir para comprender e intervenir el mundo, de esta manera, se sabrá si existe una comprensión de aquello de lo que se habla al interior de las clases o de las preguntas que se responden cotidianamente, es decir, de los modelos, teorías, conceptos, experimentos científicos que se abordan (Eder & Adúriz-Bravo, 2008; Sanmartí et al., 1999; Sanmartí, 2007).

La postura que orientó, y sobre la cual versó toda la información que se identificó en los *PFICN*, fue la anterior, por ello, se reitera que las explicaciones de los futuros profesores de ciencias que participaron en esta tesis únicamente fueron consideradas como fuente de información y no se pretendía elaborar ninguna clasificación ni tipificación de las mismas⁶.

⁶ Para ampliar información sobre clasificación y tipificación de explicaciones se recomienda revisar los trabajos de Gilbert, Boulter, & Rutherford (1998a, 1998b); Leinhardt (1990) y Talanquer (2010a).

La comprensión de aquello de lo que se habla al interior de las clases tiene implícito la articulación del conocimiento, la experiencia y el lenguaje como tres dimensiones estructuradas y construidas por los profesores en la medida que integran diferentes colectivos, estas dimensiones se logran evidenciar a través de las explicaciones de las temáticas que ofrecen a sus estudiantes (Arcá et al., 1983, 1990; Guidoni, 1985). De acuerdo a lo anterior, se espera que los profesores de ciencias al enseñar diferentes conceptos, fenómenos, leyes, modelos y teorías logren elaborar explicaciones, en este sentido, coincido con Concarí (2001, pp. 91) cuando dice que “más que considerar si las explicaciones que se dan en la clase de ciencias son o no científicas, corresponde considerar si son o no adecuadas, o mejor aún, si son más o menos adecuadas que otras”.

La importancia de las explicaciones elaboradas por los profesores de ciencias radica en la integración del conocimiento, experiencia y lenguaje que hacen parte de su formación previa, las cuales no fueron adquiridas ni por superposiciones ni adoctrinamientos sino por un proceso sistemático, gradual y continuo de explicación, aprovechamiento y confrontación con las estructuras básicas de la cultura común y por la creación de conciencia de sus transformaciones y desarrollos.

Debido a que los participantes de esta tesis fueron los futuros profesores de ciencias, los cuales a través de las diferentes asignaturas de su programa académico han logrado construir conocimientos sobre química también adquirieron un lenguaje químico e incorporaron habilidades provenientes de las acciones que realizaron durante sus prácticas experimentales en los laboratorios, fue pertinente y necesario elaborar un cuestionario que permitió caracterizar las explicaciones de ellos como fuente de información donde se logró evidenciar dichas dimensiones.

4.3. La combustión como objeto de enseñanza y aprendizaje en la formación de futuros profesores de ciencias

En los antecedentes y la justificación del problema de investigación, se sustentó que el concepto combustión tuvo una trascendencia en el desarrollo histórico de la química, al igual que la importancia que como objeto de estudio ha tenido para la enseñanza y aprendizaje de la química en los niveles de educación básica y media. Además, se hizo hincapié en que han sido pocas las investigaciones que han profundizado en la importancia del concepto combustión para la formación de futuros profesores de ciencias. En este sentido, a continuación se describirán algunas de ellas, con el propósito de presentar un panorama aproximado de lo que se ha inquirido en torno a su enseñanza y aprendizaje.

La primera tendencia que podemos presentar corresponde a los indagaciones que se han llevado a cabo con la intención de identificar el conocimiento pedagógico del contenido (CPC) que tienen los futuros profesores de ciencias en relación a la enseñanza de la combustión, en relación a esto, Jong, Ahtee, Goodwin, Hatzinikita, & Koulaidis (1999) encuentran que a los profesores en formación inicial les falta conocimiento suficiente para aclaraciones apropiadas, fallan en la demostración de experimentos, tienen insuficiente

conocimiento para orientar las discusiones de aula y fallan en la planificación del tiempo de aula correctamente.

De igual modo, Ariza & Parga (2011) en relación con la enseñanza del concepto combustión lograron concluir que los profesores en formación inicial y los profesores en ejercicio, a pesar de tener una diferencia en los años de experiencia profesional, en ambos:

- Enfatizan en el conocimiento de la química centrada en conceptos descontextualizados
- Ignoran atributos provenientes de la historia y filosofía de las ciencias en el diseño curricular y en la enseñanza de los conceptos asociados a la combustión
- Desconocen las teorías propias de la química, en particular la teoría del oxígeno y como ésta evolucionó de la teoría del flogisto.
- Dan prioridad a la observación para interpretar la química de la combustión sólo desde lo macroscópico.

La segunda tendencia concierne a los estudios realizados sobre las preconcepciones y errores que tienen los futuros profesores de química sobre cómo enseñar el concepto de combustión.

En este caso, Jong (1998b) indicó que la mayoría de los futuros profesores quieren proponer una definición que incluya el proceso (sin llama) de la combustión de los alimentos en el cuerpo humano, utilizan un significado científico de la combustión, asumen que los estudiantes piensan que el oxígeno no está involucrado en la combustión y no están muy convencidos de la importancia de la implementación de los experimentos diseñados especialmente para aclarar las dificultades conceptuales estudiantes.

Por su parte, Kind & Kind (2011) y Kind (2013) muestran que el conocimiento del contenido de no químicos es insuficiente para la enseñanza de estos conceptos químicos en escuela secundaria y en cuanto a la combustión las respuestas que elaboran los futuros profesores de química prevalecen las escalas macro.

Sin lugar a dudas, en estas investigaciones que se acaban de presentar podemos identificar que es perentorio que los futuros profesores de ciencias adquieran y dominen el concepto combustión ya que es considerado como un referente útil y necesario para introducir y ejemplificar la reacción química.

4.4. La Historia y la Filosofía de la experimentación y su relación con la enseñanza de las ciencias

A través de los años tanto la historia de las ciencias como la filosofía de las ciencias se han centrado exclusivamente en los aspectos teóricos y conceptuales de las ciencias y han dejado a un lado el papel de la experimentación en la generación de conocimiento. Esto que se está diciendo, pone en evidencia la función complementaria de la *HFC*, ya que resalta una variable que ha sido olvidada. Cabe aclarar que la reivindicación del papel de la

experimentación no es nueva, hay que reconocer que fue Ian Hacking en 1980 quien hace el llamado hacia el estudio de la experimentación en lugar de continuar con el análisis que comúnmente se ha dado en la filosofía de las ciencias sobre las teorías y las representaciones de la realidad (Echeverría, 1997).

Con la aparición de su libro *Representar e Intervenir* en el año 1983 Ian Hacking, hace una invitación para reflexionar sobre la experimentación y tomarla como objeto de análisis. Con esto no se está diciendo que en años anteriores no se haya analizado la experimentación, lo que se plantea es que la visión que se ha dado últimamente es como un proceso subsumido a la teoría y no como un proceso capaz de producir conocimiento.

Se tiene entonces que han existido dos tradiciones: por un lado, la idea de que los productos de las ciencias surgen de experimentación y, por otro lado, de la idea tradicional del positivismo de que los productos de las ciencias son preexistentes a la experimentación, aunque las dos tradiciones son ampliamente justificadas, en esta tesis doctoral se hace referencia a que tanto el conocimiento teórico como la experimentación están en el mismo nivel, y que su ubicación y uso (en términos jerárquicos) dependerá de las interacciones, circunstancias y necesidades económicas, políticas, culturales y sociales con las cuales se encuentren los científicos (Estany, 2007).

Esto significa que hay que concebir al científico, no aisladamente, sino a través de sus interacciones con otros pares, con los instrumentos, artefactos y materiales que intervienen en su proceso cognitivo. Reconocer estas interacciones reivindica la dimensión material, cultural y social en la realización de experimentos, explicaciones, procedimientos, decisiones de los científicos y sobre todo en la producción de conocimiento (Steinle, 2002).

Una propuesta para analizar las interacciones a las que se hace mención, es pertinente destacar la de Pickering (1981, 1989) él argumenta que la *estabilización social* es una integración que existe entre las propuestas investigativas de los científicos para representar e intervenir en el mundo material; dicha estabilización se logra a partir de los acuerdos que se dan entre el científico y la comunidad científica a la cual se circunscriben, en este sentido, Pickering sostiene que la práctica teórico experimental de los científicos está fijada en el espacio fenomenológico sobre el cual trabajan, ahora bien, para comprender esta fijación es necesario observar la cultura técnica del campo⁷ al cual pertenecen y es en este esfuerzo de integración que los científicos terminan por alinear sus prácticas teórico experimentales con la de sus colegas, por ello al científico en la actualidad ya no se lo debe considerar como un genio aislado, sino como un miembro de una escuela científica estructurada por condiciones sociales particulares y por un contexto definido (Schubring, 1996).

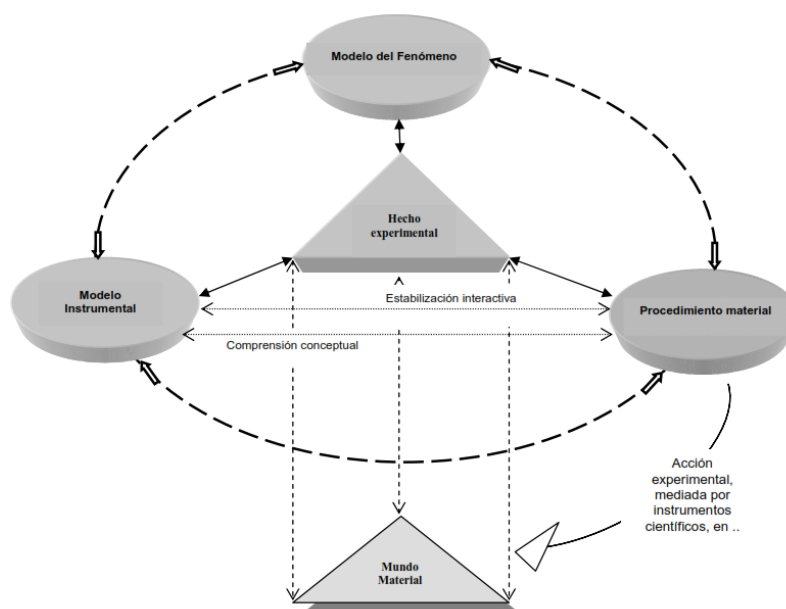
Al igual que existe la estabilización social también existe la *estabilización interactiva*, la cual está inmersa en dichas prácticas. Esta última estabilización se da entre tres elementos

⁷ Entiéndase por cultura técnica del campo todos aquellos aportes de orden procedimental, instrumental y fenomenológico que previamente han sido investigados por científicos que lo precedieron

estructurales que están presentes en la producción de cualquier hecho experimental (Ver Figura 3):

- Un **procedimiento material** es el complejo de acciones realizadas en el mundo material: disponer los aparatos y hacerlos funcionar adecuadamente, esto es, ponerlos en marcha y controlar su funcionamiento en el laboratorio.
- Un **modelo instrumental** expresa la comprensión conceptual de cómo funciona el aparato por parte del experimentador; suele ser central para el diseño, la realización y la interpretación del experimento.
- Un **modelo fenoménico** es la comprensión conceptual de los aspectos del mundo fenoménico que están siendo estudiados por parte del experimentador; sin él, los resultados carecerían de sentido y significación, y no podrían ser interpretados.

Figura 3. Los tres elementos que integran el experimento según Pickering. Fuente: García-Martínez (2009)



Es perentorio aclarar que los tres elementos deben entenderse de manera integrada y sin jerarquías, en otras palabras, ellos no se expresan de manera individual sino que se dan en una continua reciprocidad, es decir, que los científicos en el momento de llevar a cabo un experimento los colocan en juego constantemente y no de forma lineal sino complementaria, con la intención de producir conocimiento. Estos elementos que él propone constituyen el mecanismo mediante el cual se acudirá a la historia de la combustión.

Con este tipo de propuestas se identifica que el análisis histórico crítico cuando se apoyan en los aportes de la sociología del conocimiento científico se vuelven significativos para el investigador ya que no se limita únicamente a la realización de las narraciones históricas triunfalistas y presentistas, sino que logra situar el desarrollo de conceptos, teorías, modelos y experimentos en una época determinada, en la cual, los diferentes factores sociales,

políticos, económicos y religiosos favorecieron la selección y triunfo de una determinada propuesta explicativa sobre otra. La propuesta que aparentemente “perdió la batalla” tiende a ser degradada y olvidada ya que no tiene la capacidad de producir conocimiento científico, por ende, ingresa a los anaqueles de la ciencia y termina siendo parte de las anécdotas científicas.

En términos generales acudir a la *HFC* bajo la mirada educativa sirve para:

- Identificar las dificultades conceptuales, sociales, políticas que rodearon a los científicos (Gagliardi & Giordan, 1986; Gagliardi, 1988).
- Identificar los problemas, fenómenos, hechos, experimentos e instrumentos que favorecieron el desarrollo de teorías, modelos y conceptos en ciencias naturales.
- Diseñar, aplicar y evaluar propuestas de enseñanza que permiten concebir la ciencia actual desde perspectivas alternas a las visiones ahistoricas, acumulativa, elitista y triunfalista que comúnmente se evidencian en las aulas de clases (Fernández, Gil, Carrascosa, & Cachapuz, 2002; Padilla, Furió, & Azcona, 2005).
- Facilitar la construcción de materiales didácticos para la enseñanza (García-Arteaga, 2009; Viáfara, 2009; Zambrano, 2009).
- Incentivar el estudio de los textos históricos para encontrar la lógica del pensamiento de los científicos para que den luces en la comprensión del conocimiento científico actual y construir conocimiento científico escolar (García-Arteaga, 2011a).
- Incorporar la dimensión histórico y filosófica en la enseñanza de las ciencias ha traído beneficios en el desarrollo del currículo, la escritura de libros de texto, las conducciones de las investigaciones sobre el aprendizaje de las ciencias, el realce de las actividades y lesiones de clase, la formación de profesores, o la definición de la alfabetización científica (Höttecke & Silva, 2011; Martinand, 1993; Matthews, 1989, 1991, 1994; Monk & Osborne, 1997; Solbes & Traver, 1996).
- Desarrollar un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación (Gil, 1993).

Lo anterior no significa que los docentes de ciencias se vuelvan historiadores de las ciencias ni mucho menos filósofos de las ciencias, sino que acudan a estos campos bajo una mirada educativa para identificar modelos explicativos, experimentos e instrumentos olvidados en los anaqueles del pasado.

Los profesores en cualquier nivel de formación debemos tener presente que nuestra tarea consiste en educar a las próximas generaciones, de tal manera, que tengan la capacidad de interactuar (en el más amplio sentido de la palabra) de forma directa y contundente en todos los ámbitos en los cuales este presente, sumado a esto deben reconocer que los productos de las ciencias y la tecnología son efímeros o pasajeros y que responden en muchas ocasiones a necesidades inmediatas y que no trascienden en el tiempo, de ahí que son las nuevas generaciones las que tendrán la tarea de impulsar nuevos desarrollos científicos y tecnológicos. Lo anterior toma un preponderante significado ya que nos exige a los que hacemos parte de la *PFICN* preguntarnos sobre ¿Qué debemos enseñar de las ciencias? ¿Qué

tipo de ciencia queremos enseñar? ¿Para qué enseñamos ciencias? ¿De qué manera o cómo debemos enseñar las ciencias? ¿Qué recursos y materiales debemos utilizar en la enseñanza de las ciencias? ¿Cómo podemos orientar nuestras clases de tal manera que sean un espacio de interés para los docentes en formación inicial en ciencias naturales?

4. METODOLOGÍA

Como se sustentó en la justificación, esta investigación estuvo orientada por tres ejes: I. La identificación de los aportes del estudio histórico filosófico de la experimentación asociada a la combustión. II. La caracterización de las explicaciones como fuente de información del conocimiento químico adquirido por los *PFICN*. III. El diseño de una propuesta programática alterna para la enseñanza de la química a los *PFICN*. Además, para ser consecuentes con los objetivos formulados previamente, es necesario en este apartado sustentar la elección del enfoque de investigación en el cual se enmarcó esta propuesta.

Teniendo claro lo anterior, se continúa con la descripción del contexto de la investigación (*TCH* y *PFICN*), se detalla el proceso de investigación y las etapas mediante las cuales se solucionó la pregunta de investigación y se justifican los diferentes instrumentos utilizados para la recolección de los datos que posteriormente fueron analizados.

5.1. Orientaciones teóricas de la metodología

5.1.1. La metodología cualitativa de enfoque interpretativo

En concordancia con el interés por identificar en los *TCH* y los *PFICN* la integración entre el conocimiento, lenguaje y experiencia, se puede destacar que lo fundamental no radica en la recolección de datos numéricos o cuantitativos, sino que se pretendió realizar una interpretación que sirvió para la construcción de significados. Estas ideas conllevaron a esta investigación a adscribirse a la *metodología cualitativa de enfoque interpretativo*, debido a que enfatiza en la comprensión e interpretación de la realidad educativa desde los significados de las personas implicadas en los contextos educativos (Latorre, del Rinón, & Arnal, 1996).

Al respecto, Cerda (2008, p. 48) indica que este enfoque de investigación se caracteriza por los siguientes aspectos:

- La interpretación que se da de las cosas y fenómenos no pueden ser captados o expresados plenamente por la estadística o las matemáticas.
- Utiliza el análisis diacrónico en los datos.
- Utiliza la entrevista abierta no estandarizada como técnicas en la recolección de datos.

Este enfoque de investigación es flexible e interactiva razón por la cual adquiere relevancia y valor la recolección de información a través de cuestionarios y análisis de documentos.

5.2.Contexto de la investigación

Considerando que se pretendía diseñar una propuesta programática alterna para la enseñanza de la química a partir de los aportes del estudio histórico filosófico de la experimentación asociada a la combustión y las explicaciones elaboradas por los futuros profesores de ciencias naturales, esta investigación estuvo enfocada en la metodología cualitativa, por ello los datos obtenidos a partir de los *TCH* y los *PFICN* se analizaron desde esa perspectiva.

5.2.1. Los Textos Científico Históricos (*TCH*)

En las investigaciones que incorporan la *HFC* es frecuente acudir a los *TCH*, entre ellos libros, artículos, comunicaciones y cartas elaborados por la comunidad científica. En este tipo de material los profesores desde una mirada educativa podrán: I. Evidenciar el panorama del conocimiento científico compartido sobre la materia en su momento. II. Dilucidar los hechos, los datos, las teorías, los procedimientos, los instrumentos. III. Buscar intereses, éxitos y fracasos de los científicos implicados en un periodo extenso de su actividad. IV. Identificar el desarrollo cultural, las corrientes ideológicas o políticas influyentes en el trabajo de los científicos. V. Reconocer los presupuestos que los científicos hacen sin ser forzados, las teorías por las que se desencadenan y las que dejan a un lado (Stiefel, 1996, p. 2).

Adicional a lo anterior, los *TCH* como fuentes principales de información describen, esbozan, representan e incluyen información relevante que puede servir para seleccionar elementos que a través de una integración pueden integrar el conocimiento químico (García-Belmar & Bertomeu, 1999), de igual manera, permiten descubrir, estudiar y analizar circunstancias, fenómenos, hechos en el abordaje histórico que aclaran o revelan hechos que a la luz de la reconstrucción inteligente, nos permiten imaginar lo que pudo haber sucedido (Rodríguez de Romo, 2011).

Debido a que la información que podemos obtener a partir de la revisión de los *TCH* sería diversa y con diferentes matices en sus direcciones, se hace necesario tener claridad sobre qué es lo que se va a identificar y caracterizar. En este sentido, un paso fundamental para la determinación, identificación y selección de los *TCH*, requirió valorar criterios como:

- I. Reconocer la importancia del estudio de caso que se va analizar (Justi, 1997).
- II. Consultar libros de historia de la química para identificar en sus referencias bibliográficas aquellos *TCH* que son pertinentes consultar (García-Arteaga, 2011a).
- III. Inspeccionar en las bases especializadas en materiales históricos la disponibilidad de los *TCH* (Stiefel, 1996).
- IV. Incluir *TCH* en los cuales se identifique explícitamente la descripción de experimentos sobre la combustión diseñados, ejecutados y analizados por los científicos.
- V. Elegir *TCH* que describan experimentos que sirvieron como fundamento para la continuidad y consolidación de las explicaciones sobre la combustión.

La consulta de los libros de historia de la química escritos por Brock (1998), Ihde (1984), Leicester (1967), Bensaude-Vincent & Stengers (1997) y Leicester & Klickstein (1952) y la disponibilidad de los materiales históricos permitió determinar que los *TCH* en los cuales se hace referencia a la combustión fueron los elaborados por Robert Boyle, John Mayow, Carl Wilhelm Scheele, George Ernest Stahl, Joseph Priestley, Henry Cavendish y Antoine Laurent Lavoisier (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Lista de Textos Científico Históricos analizados

AUTOR	LIBRO/REVISTA	CAPÍTULO/ARTÍCULO	EXPERIMENTO (PÁGINA)	ANEXO	AÑO
Robert Boyle	Tracts written by the hounourable Robert Boyle containing new experiments touching the relation betwix <i>Flame</i> and <i>Air</i> : and about explosions: an hydrostatical with some objections od Dr. Henry More against some explications of new experiments.	The first title of the difficulty of producing flame without air.	Experimento 2 (p. 23 – 25)	4	1673
			Experimento 5 (p. 31 – 34)	5	
		The second title of the difficulty of preserving flame without air.	Experimento 1 (p. 54 – 55)	6	
			Experimento 5 (p. 71 – 79)	7	
		The third title of the strangely difficulty of propagation actual flame in vacuo boyliano.	Experimento 1 (p. 89 – 90)	8	
			Experimento 5 (p. 94 – 97)	9	
John Mayow	Medico-physical Works: Being a Translation of Tractatus Quinque Medico-physici	Chapter 3. On the nature of nitro-aerial and igneous spirit	Experimento 1 (p. 19 – 22)	10	1674
		Chapter 7. That the elastic power of air is due to nitro-aerial spirit. Also, if the manner in which air is impregnated anew with nitro-aerial particles. Incidentally, of the elements of fire and of cold.	Experimento 2 (p. 68 – 69)	11	
			Experimento 3 (p. 70 – 71)	12	
George Ernst Stahl	Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique	Théorie du Phlogistique	Experimento 1 (169 – 170)	13	1766

Henry Cavendish	Philosophical Transactions, Vol. 56, pp. 141-184	Three papers, containing experiments on factitious air	Experimento 1 (144 – 150)	14	1766
Joseph Priestley	Experiments and observations on diferents kinds of air	Section II. On Air in which a Candle, or Brimstone, has burned out.	Experimento 2 (p. 43 – 55)	15	1770
		Section VIII (Of the effect of the calcination of metals)	Experimento 8 (p. 133 – 143)	16	
Antoine Laurent Lavoisier	Memorias sobre el oxígeno, el calórico y la respiración	Memoria sobre la calcinación del estaño en vaso cerrado y sobre la causa del aumento del peso que este metal experimenta durante la operación.	Experimento 1 (p. 57 – 79)	17	1774 (Versión traducida al castellano 1948)
		Memorias sobre la naturaleza del principio que se combina con los metales durante la calcinación y que causa el aumento de su peso.	Experimento 2 (p. 81 – 89)	18	1775 (Versión traducida al castellano 1948)
	Tratado Elemental de Química	De la combustión del fósforo y el carbón	Experimento 3 (p. 430 – 437)	19	1789 (versión traducida al castellano 1982)
		De la combustión del espíritu del vino o alcohol	Experimento 4 (p. 443 – 445)	20	
Carl Wilhelm Scheele	Chemical observations and experiments on air and fire	Experimens and observations on different kinds of air, in 4 Volumes	Experimento 1 (p. 16 – 17)	21	1780
			Experimento 3 (p. 17 – 19)	22	
			Experimento 4 (p. 19 – 20)	23	
			Experimento 2 (p. 79 – 80)	24	

5.2.2. Participantes del estudio

El contexto determinado para realizar el estudio correspondió al programa académico de Licenciatura en Educación Básica en Ciencias Naturales y Educación Ambiental que está adscrito al Área de Educación en Ciencias y Tecnología del Instituto de Educación y Pedagogía de la Universidad del Valle (Cali/Colombia). La determinación de este contexto se debe a:

- I. En la actualidad hago parte de la planta profesoral del Área de Educación en Ciencias y Tecnología, lo cual facilitó la inmersión al campo y la selección de los participantes. En dicha Área existen estudiantes regidos por las resoluciones 047 de 2002 y la 118 de 2009, sin embargo, los que pertenecen a la primera son muy pocos y esto no favorece la recolección de la información, en cambio los estudiantes de la resolución 118 existen en gran número, razón por la cual fueron los que conformaron los participantes con la que se trabajó.
- II. A nivel nacional el Ministerio de Educación Nacional estableció el Programa Nacional de Formación de Educadores mediante el cual se pretende consolidar la Política y el Sistema Colombiano de Formación de Educadores (Ministerio de Educación Nacional, 2013). En la consolidación de este Sistema, uno de los pilares fundamentales que adquiere valor es el subsistema de formación inicial debido a que corresponde al contacto inicial con los conocimientos pedagógico, didáctico, disciplinar y socioambiental.
- III. Como se dijo previamente, la estructura curricular se encuentra caracterizada por incluir un componente científico integrado por asignaturas de química que ofrecen a los estudiantes el conocimiento químico necesario para resolver problemas y para comprender y explicar situaciones en las que lo ponen en juego. Esta característica le da un valor importante para acudir al estudio de las explicaciones que los estudiantes elaboran.

La selección de los *PFICN* que se incluyeron en esta investigación correspondió a un *muestreo por conveniencia* debido a que “busca obtener la mejor información en el menor tiempo posible, de acuerdo con las circunstancias concretas que rodean tanto al investigador como a los sujetos o grupos investigados” (Sandoval, 2002, p. 124).

En este sentido, los criterios que se tuvieron en cuenta para la selección de los participantes fueron:

- I. Revisar el historial académico de los estudiantes del programa de Licenciatura en Educación Básica en Ciencias Naturales y Educación Ambiental regidos por la Resolución 118 de 2009.
- II. Incluir futuros profesores de ciencias que hayan cursado y aprobado las asignaturas: Química I, Química II, Laboratorio de química general, Principios de química orgánica, Química Ambiental.
- III. Responder a la convocatoria para la aplicación del cuestionario

- IV. Disponibilidad para participar en el proceso investigativo.
- V. Responder el cuestionario.

Al revisar el historial académico de los estudiantes del programa de Licenciatura en Educación Básica en Ciencias Naturales y Educación Ambiental regidos por la Resolución 118 de 2009, se logró identificar que en la actualidad existen cinco cohortes (2010, 2011, 2012, 2013 y 2014). De acuerdo a la estructura curricular del programa académico de Licenciatura y hasta el momento de recolectar la información, de las cinco cohortes, se esperaba que solamente tres (2010, 2011 y 2012) cumplieran con el criterio de haber cursado las asignaturas: Química I, Química II, Laboratorio de química general y Principios de química orgánica.

El número total de estudiantes activos que integraban estas tres cohortes era 82, pero debido a que la base de datos estaba incompleta y no se logró corroborar cuantos habían aprobado estas asignaturas, fue necesario preguntarle a cada uno, a través de correo electrónico, quiénes habían cursado y aprobado dichas asignaturas. Este proceso sirvió para determinar que únicamente 44 de ellos cumplieran con el segundo criterio de selección.

Con la intención que respondieran a la convocatoria para la aplicación del cuestionario (tercer criterio) y de conocer la disponibilidad para participar en el proceso (cuarto criterio), se tomó la decisión de contactarlos nuevamente a través de redes sociales y correo electrónico para indagar cuántos de ellos tendrían la disponibilidad para participar en el proceso investigativo, a esta consulta, 23 *PFICN* manifestaron que participarían voluntariamente. Los *PFICN* que respondieron afirmativamente fueron citados individualmente en un horario y día convenido en conjunto.

El día y hora programada para responder el cuestionario (quinto criterio) solamente se presentaron 15 *PFICN*, por lo tanto, este fue el número total de participantes que finalmente hicieron parte del proceso. Para mantener el anonimato de los que colaboraron en el proceso, se tomó la decisión de establecer un código (ver Tabla 2) que estaba conformado por el año de la cohorte (2010, 2011 o 2012), las siglas de Cuestionario Estudiantes Licenciatura (CEL) y un número consecutivo del 1 al 23 (las filas que incluyen letras resaltadas en azul corresponde a los participantes que no respondieron el cuestionario). De igual manera, a cada uno de los participantes se le entregó una carta (Anexo 1) en la que se informaba que la información suministrada se mantendría de manera anónima y que las respuestas sólo serían utilizadas para fines académicos.

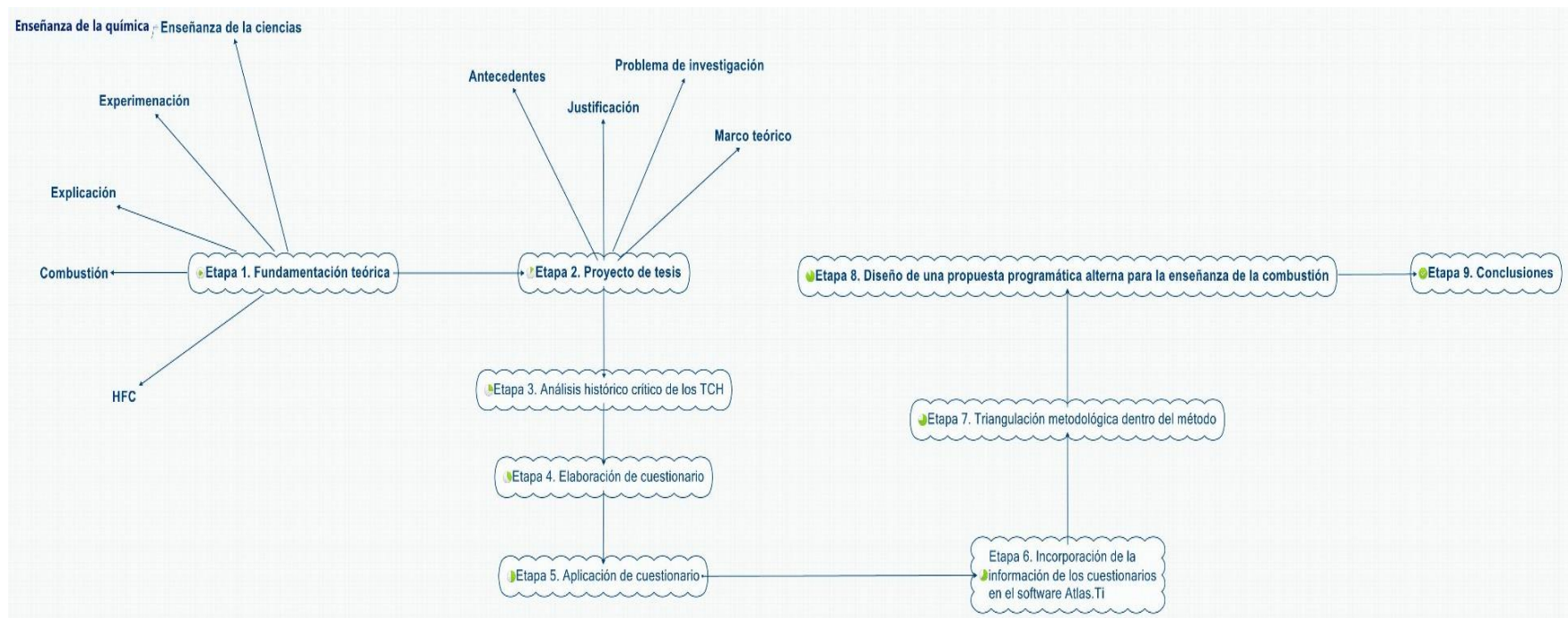
Tabla 2. Códigos asignados a los participantes

COHORTE	INSTRUMENTO	NÚMERO DEL PARTICIPANTE	CÓDIGO
2010	CEL	01	2010CEL01
2010	CEL	02	2010CEL02
2010	CEL	03	2010CEL03
2010	CEL	04	2010CEL04
2010	CEL	05	2010CEL05
2010	CEL	06	2010CEL06
2010	CEL	07	2010CEL07
2011	CEL	08	2011CEL08
2011	CEL	09	2011CEL09
2011	CEL	10	2011CEL10
2011	CEL	11	2011CEL11
2011	CEL	12	2011CEL12
2012	CEL	13	2012CEL13
2012	CEL	14	2012CEL14
2012	CEL	15	2012CEL15
2012	CEL	16	2012CEL16
2012	CEL	17	2012CEL17
2012	CEL	18	2012CEL18
2012	CEL	19	2012CEL19
2012	CEL	20	2012CEL20
2012	CEL	21	2012CEL21
2012	CEL	22	2012CEL22
2012	CEL	23	2012CEL23

5.3. Descripción del proceso de investigación

En la Figura 4 se pueden observar las nueve (9) etapas que conformaron el proceso de esta investigación, miremos en detalle qué se realizó en cada una de ellas.

Figura 4. Relación entre las Etapas del diseño metodológico. Fuente: elaboración propia



4.3.1. Etapa 1. Fundamentación Teórica

La fundamentación teórica es la actividad de lectura, escritura y socialización continua mediante la cual el investigador adquiere conocimiento a partir del marco de los estudios que previa o paralelamente se han venido realizando a través de los esfuerzos de los distintos grupos de investigación existentes en el campo de la didáctica de las ciencias. Este proceso se caracteriza por ser diacrónico y transversal.

El diacronismo se identifica en la medida que exige la revisión y comparación constante entre la información proveniente de la literatura académica y las ideas que se validan y sustentan en la investigación doctoral. Y la transversalidad está dada porque abarca cada una de las etapas que hacen parte de la investigación que se realizó, de acuerdo a lo anterior, esta primera etapa estuvo presente desde el inicio hasta el final del proceso doctoral.

4.3.2. Etapa 2. Presentación y sustentación de proyecto de tesis

El Doctorado Interinstitucional en Educación en términos académico administrativos, plantea que se debe presentar un proyecto de tesis y sustentarlo públicamente ante un jurado de tres miembros, por lo tanto, esta etapa estuvo focalizada específicamente en la inclusión de:

- Los antecedentes que previamente se habían desarrollado.
- La justificación donde se destacó la importancia de la investigación que se realizaría
- El planteamiento y formulación del problema de investigación
- Se proyectó dentro del planteamiento metodológico el contexto de investigación, los instrumentos de recolección de información, la manera cómo se analizarían los datos y el tiempo estimado para la finalización de la tesis.

Posteriormente a la aceptación del proyecto de tesis, las siguientes fases que se realizaron estuvieron orientadas por las directrices metodológicas que se habían propuesto.

4.3.3. Etapa 3. Análisis histórico crítico de los *TCH*

En los últimos años se ha venido desarrollando el análisis histórico crítico (a partir de ahora *AHC*). Esta postura que ha sido ampliamente fundamentada por investigadores como García-Arteaga (2009) y Granés & Caicedo (1997) ha tenido una trayectoria que ha estado marcada principalmente por el estudio de los *TCH* que elaboraron los científicos en cada una de sus épocas.

El propósito que se tiene con este tipo de análisis no es profundizar en la búsqueda de definiciones, no se pretende rastrear ni el origen ni el inicio de una noción o concepto específico, ni identificar el rechazo hacia una u otra teoría en disputa, en lugar de esto, lo que justificamos es la instauración de un diálogo con los científicos por medio de los *TCH* que

escribieron que conlleven a una construcción intencionada desde una mirada educativa que permita realizar nexos con el conocimiento común (Ayala, 2006).

De esta manera, se consigue interpretar la actividad científica como una actividad profundamente humana, por ende, la generación de conocimiento científico estará mediada por diversas relaciones socioculturales. La idea de asumir a la ciencia como una construcción humana pone en evidencia que las teorías y las prácticas experimentales en general y la experimentación en particular son producto de los acuerdos, disputas, controversias a los que estaban expuestos los diferentes colectivos científicos. Otra característica importante que podemos referenciar es que la teoría y la experimentación siempre han estado confluyendo paralelamente.

Como se podrá observar en los resultados, la redacción del *AHC* incluyó citas textuales traducidas de los *TCH* y el fragmento original fue referenciado como una nota al pie de la página, se procedió de esta manera para que se logró comparar la información y el significado. En estas citas, los términos químicos se mantuvieron de la misma forma como los científicos los referenciaban en sus *TCH*, una de las razones para proceder de esta manera es para mantener la esencia de la época y el contexto en el que se emplearon.

Este ejercicio académico del *AHC* de los experimentos en los *TCH* se caracterizó por la identificación de los tres elementos estructurales propuestos por Pickering (1989): procedimiento material (PM), modelo instrumental (MI) y modelo fenoménico (MF). Algunos resultados de este proceso ya han sido puestos en escena en un evento internacional (Cabrera, 2014), en un capítulo de libro (Cabrera & Quintanilla, 2014) y en un artículo (Cabrera & García-Arteaga, 2014). El cumplimiento de esta etapa permitió alcanzar el propósito de realizar el estudio histórico filosófico de la experimentación asociada a la combustión. El procesamiento del análisis será detallado en el apartado 5.5.1.

4.3.4. Etapa 4. Elaboración de cuestionario

De acuerdo a los hallazgos de la etapa anterior y considerando que uno de los propósitos era caracterizar las explicaciones como fuente de información de los *PFICN* sobre la combustión, se procedió a la elaboración del cuestionario. Este exteriorizaba dos características fundamentales: iniciar con una situación problema y formular preguntas abiertas.

El uso de situaciones problema es una manera alterna de problematizar y persuadir a los estudiantes que serán consultados, a través de ellas se busca el establecimiento relaciones teórico experimentales, de causa y efecto de fenómenos conocidos y se les exige justificación a partir de los conocimientos previamente adquiridos (García & Rentería, 2011; García-Arteaga, 2011a; Izquierdo, 2005a; Landau, Ricchi, & Torres, 2014), ya que a través de estas se pueden presentar algunas particularidades o de los componentes de los fenómenos, como en este caso, la función del oxígeno, del combustible y de la chispa y los productos obtenidos de la combustión. Por ejemplo, las situaciones problema 1, 2 y 3 eran fragmentos originales editados de alguno de los experimentos que realizaron los científicos, la selección de estos

estuvo basada en el poco uso de términos químicos de la época en los que fueron realizados y la inclusión de aspectos procedimentales e instrumentales, mientras que la situación problema 4 era una recontextualización de la manera como Boyle pretendía producir llama sin presencia de aire, en este caso lo que se pretendía era producir llama sin la presencia a simple vista de la chispa o en se defecto del aumento de temperatura de activación de los reactivos que participaban en la reacción.

La segunda característica estuvo asociada a las preguntas que se formularon, para ello se tuvo en cuenta los planteamientos y sugerencias de Márquez & Roca (2006), Márquez, Bonil, & Pujol Vilallonga (2005), Roca, Márquez, & Sanmartí (2013) y Roca (2005) sobre las particularidades que deben hacer parte de preguntas alternativas (o mediadoras como las nombran ellas), entre ellas:

- *Grado de apertura*: en este caso se formularon preguntas abiertas porque permitían obtener mayor información, no limitaba al *PFICN* en el momento de elaborar una respuesta y le permitía poner en práctica diferentes procedimientos e ideas.
- *Objetivo*: la pregunta formulada estuvo en concordancia o tenía relación con el objetivo que planteado, esto era fundamental para que la información que se obtuviera a través de las respuestas pudiera caracterizarse el conocimiento que los participantes habían logrado adquirir.
- *Componente disciplinar*: correspondió a los indicios de la combustión que implícita o explícitamente estaban involucrados en la pregunta y sobre el cual el participante debía tener conocimiento.
- *Procedimiento*: la pregunta formulada debía ser coherente con lo que el participante realizaría, es decir, como se quería que ellos explicaran, la indicación debía ser clara y directa para que procedieran adecuadamente.

En la Tabla 3 se presenta un resumen en el que se indica el cumplimiento de las características que componían el cuestionario elaborado y en el Anexo 3 se incluye el cuestionario con las situaciones problema y las preguntas que lo integraron.

Tabla 3. Características de las preguntas para el cuestionario

Pregunta	Grado de apertura		Objetivos	Componente disciplinar			Describir	Procedimiento		
	Cerrada	Abierta		Modelo	Teoría	Concepto		Explicar	Justificar	Argumentar
1 – 2 – 6 – 7		X	Identificar la función de los reactivos participantes y los productos obtenidos en la calcinación y combustión.	Calcinación – Combustión				X		
3 – 4		X	Reconocer la importancia del instrumento y los materiales en la realización del experimento.	Calcinación - Combustión				X		
5 – 8		X	Identificar la función de la chispa/temperatura en la combustión.	Combustión				X		

4.3.5. Etapa 5. Aplicación de cuestionario

Después de la elaboración del cuestionario, acaecieron dos momentos fundamentales. El primero correspondió a la realización de una prueba piloto del cuestionario (Anexo 2) con la participación de cinco *PFICN* seleccionados aleatoriamente. El propósito consistía en determinar la comprensión, redacción y claridad de las situaciones problema y las preguntas que se formulaban. El segundo momento concernió a la aplicación definitiva del cuestionario (Anexo 3) a los 15 participantes que finalmente se presentaron el día y la hora establecida. Los *PFICN* respondieron individualmente el cuestionario. La duración promedio para resolverlo fue de una hora.

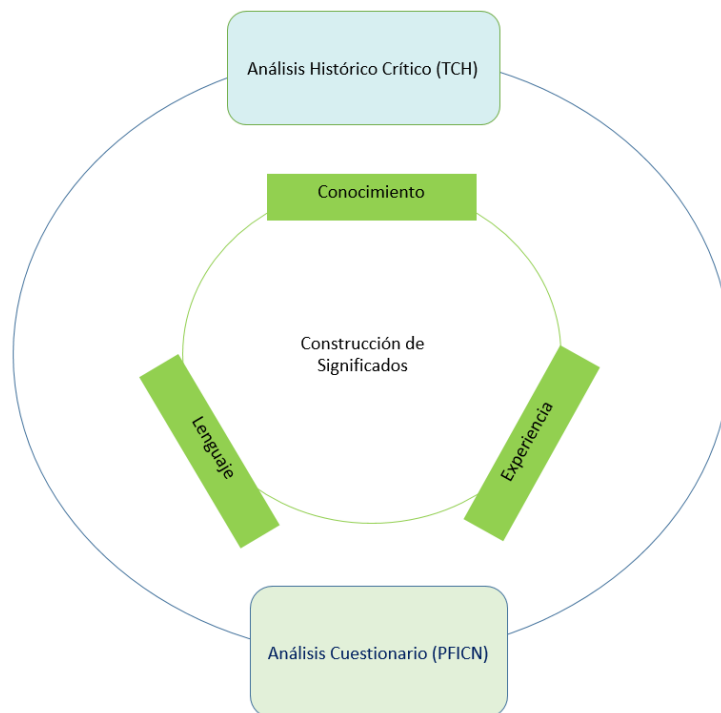
4.3.6. Etapa 6. Incorporación de la información de los cuestionarios en el software Atlas.Ti

Todo el corpus de los cuestionarios fue incorporado y analizado a través del software Atlas.Ti versión WIN 7.5.10 (Build 6) el cual es una herramienta potente e imprescindible en la actualidad para el desarrollo y procesamiento de datos en investigaciones cualitativas ya que permite segmentar datos en unidades, codificar datos, agrupar en familias (subcategorías) y crear supérfamilias (categorías) (Gibbs, 2012; Hernández et al., 2008; Márquez & Bonil, 2013; Orrego, Tamayo-Alzate, & López, 2012; Tamayo-Alzate, Orrego, & Dávila, 2008). Esta etapa permitió caracterizar las explicaciones de los *PFICN* sobre la combustión. El procesamiento del análisis será detallado en el apartado 5.5.2.

4.3.7. Etapa 7. Triangulación metodológica dentro del método

Convencionalmente la *Triangulación Metodológica dentro del Método* es el uso de varios métodos en el estudio de un mismo objeto, también puede involucrar variedades de datos, investigadores, teorías y metodologías (Arias, 2000). En esta tesis se realizó una triangulación metodológica dentro del método, en la cual se combinarán los datos recolectados a través de los instrumentos utilizados, el vínculo fue dado por el reconocimiento de las categorías conocimiento, experiencia y lenguaje que inicialmente se formularon y las subcategorías que emergieron en el análisis de los resultados de las Etapas 3 y 6 (ver Figura 5).

Figura 5. Triangulación Metodológica de los datos obtenidos en los TCH y Cuestionario



4.3.8. Etapa 8. Diseño de una propuesta programática alterna para la enseñanza de la combustión

Con el propósito de diseñar una propuesta programática alterna de enseñanza de la química para *PFICN* fue necesario incorporar elementos provenientes de la Etapa 3, 6 y 7 ya que a través de ellos se reconoció los aportes provenientes del estudio histórico filosófico de la experimentación asociada a la combustión, de la caracterización de las explicaciones de los participantes y del establecimiento de relaciones a través de la triangulación metodológica. La explicación de los componentes de la propuesta será explicada en profundidad en el apartado 8.

4.3.9. Etapa 9. Conclusiones

Esta etapa tuvo como finalidad elaborar las conclusiones sobresalientes que a través del trabajo de investigación doctoral se logró determinar y que implicaciones para el desarrollo de futuros estudios.

5.4. Instrumentos para recolectar datos

Para Hernández, Fernández-Collado, & Baptista (2008, p. 27) la investigación cualitativa se basa en métodos de recolección de datos no estandarizados. Consiste en obtener

explicaciones de los participantes. De acuerdo a esto, los instrumentos que se elaboren y el proceso que se lleve a cabo deben estar en concordancia con este tipo de investigación y con el diseño metodológico. Es así que en esta investigación, la generación de los datos procedió del análisis y triangulación a partir de categorías pre – definidas y subcategorías emergentes.

Como se observó en las Etapas anteriores, los instrumentos que se utilizaron para recolectar la información fueron:

- **Textos Científico Históricos:** son una fuente valiosa de datos cualitativos que sirven para entender el objeto de estudio, en esta tesis se consideraron los *TCH* elaborados por los científicos como el insumo principal para identificar la manera como ellos contribuyeron en la consolidación del conocimiento asociado a la combustión.
- **Cuestionario:** hace parte de cualquier procedimiento o técnica donde se utiliza la interrogación como medio para obtener información (Cerdeña, 2008). Una característica de este instrumento es que el investigador puede estar ausente, de ahí la importancia de redactar preguntas comprensibles y que permitan obtener la información que se requiera. En esta tesis se utilizó un cuestionario de opción abierta ya que como he planteado hasta el momento, lo que se necesitaba era caracterizar las explicaciones de los *PFICN* (Rodríguez, Gil, & García, 1999). Reiteramos que este cuestionario incluyó las situaciones problema elaboradas por el investigador teniendo como base el análisis de los datos obtenidos de los *TCH*.

Es necesario dejar claro que en el proyecto de tesis que se presentó se incluía de manera opcional la aplicación de la entrevista semiestructurada como otro instrumento para recolectar y complementar la información suministrada por los *PFICN*, sin embargo, por su calidad de opcional, su aplicación dependía de los resultados obtenidos a través del cuestionario, debido a que este último instrumento fue suficiente para caracterizar dichas explicaciones, no se avanzó hacia la aplicación de la entrevista.

5.5. Plan de procesamiento de análisis de los datos

Debido a que los datos provienen de los *TCH* y los Cuestionarios, es necesario especificar la manera como se realizó el procesamiento de análisis de estos dos instrumentos.

5.5.1. Procesamiento de análisis de los TCH

La primera actividad que se realizó fue leer detenidamente cada uno de los *TCH* que aparecen en la Tabla 1, posteriormente procedí a la extracción de los experimentos que hacían referencia exclusivamente a la combustión (Anexos 4 al 24). Debido a que el fragmento de los *TCH* en su mayoría eran imágenes digitalizadas y estaban guardados en formato PDF, fue

necesario transcribirlos en un procesador de textos (Word) aquellos experimentos seleccionados para su posterior análisis.

De cada uno de estos experimentos se seleccionaron aquellas citas textuales en las que se hacía referencia a los tres elementos que los conforman según Pickering, es decir, procedimiento material (en los resultados se representara por las iniciales PM), modelo instrumental (en los resultados se representara por las iniciales MI), modelo fenoménico (en los resultados se representara por las iniciales MF).

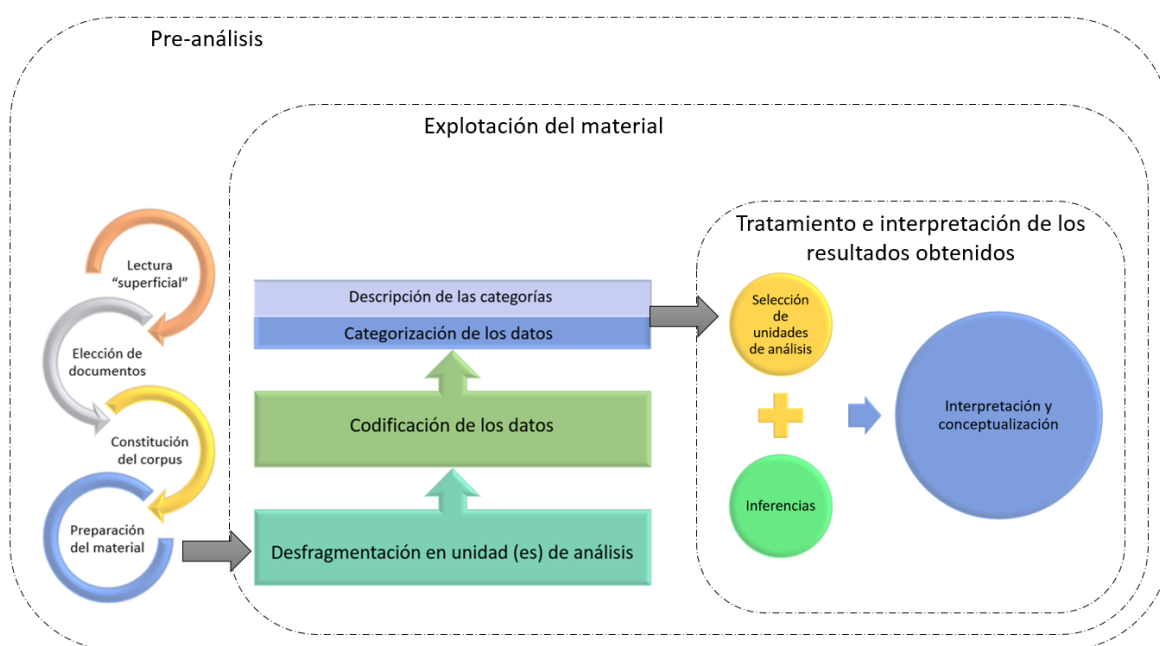
Estos tres elementos deben entenderse de manera integrada y sin jerarquías, en otras palabras, ellos no se expresan de manera individual sino que se dan en una continua reciprocidad, es decir, que el científico en el momento de llevar a cabo un experimento los coloca en juego constantemente y no de forma lineal sino complementaria. Para el caso de esta tesis, este análisis servirá para evidenciar la integración del conocimiento, la experiencia y el lenguaje asociado a la experimentación sobre la combustión.

En el ámbito de la historia de las ciencias es común encontrar referencias sobre el *estudio de casos*, los cuales corresponden a los trabajos científicos realizados por un conjunto especializado de científicos, instituciones, laboratorios, disciplinas o tradiciones durante un periodo de tiempo limitado cuyo trabajo está centrado en un dominio o tema específico, por ejemplo, el trabajo sobre la radiación del cuerpo negro, la localización de los agujeros negros, la composición del material de los genes – o como en este caso la combustión – (Burian, 2001), de igual modo, en la literatura también se hace referencia a los *episodios históricos*, los cuales son una ejemplificación en la que se logra identificar los personajes, el tipo de experimentos, los materiales, el procedimiento y las explicaciones. Es decir, son una serie de “capítulos” que en la medida que se logren relacionar servirán para construir y dar sentido a los casos más generales (Chang, 2011).

5.5.2. Procesamiento de análisis de los Cuestionarios

Este plan incluyó algunos de los elementos que plantean y sustentan investigadores como Hernández, Fernández-Collado, & Baptista (2008), Rodríguez, Gil, & García (1999), Gibbs (2012), McMillan (2005) y Flick (2004). Para el caso de la presentación y organización del proceso de análisis de los datos se tuvo en cuenta las tres fases propuestas por Bardin (2002): pre-análisis, explotación del material y tratamiento e interpretación de los resultados obtenidos (ver Figura 6).

Figura 6. Proceso de análisis de los datos del cuestionario basado en Bardin (2002), Hernández, Fernández-Collado, & Baptista (2008) y Camacho (2010)



5.5.2.1. Pre-análisis

Debido al gran número de datos e información recolectada, es necesario realizar una adecuada organización, al mismo tiempo se debe determinar “qué herramientas se van a utilizar...asegurarse que el material este completo y que posea la calidad necesaria para ser analizado” (Hernández et al., 2008, p. 629). Esta fase Bardin (2002) la denomina *pre-análisis* y consiste en operacionalizar y sistematizar las ideas con las que se partirá y que conducirán a la programación de las operaciones que deberán realizarse en el análisis.

Siendo consecuentes con los planteamientos de Bardin (2002, p. 72), en esta tesis se inició con una *lectura “superficial”* para entrar en contacto con la información que había suministrado cada uno de los *PFICN*, este primer contacto sirvió para realizar la *elección de los documentos*, es decir, la selección de aquellos cuestionarios que habían sido resueltos aquellos participantes que cumplieran con los criterios del apartado 5.2.2.

Resultado de la actividad anterior, se seleccionaron los cuestionarios que conformarían la *constitución del corpus* de documentos que serían sometidos al análisis (Anexos 25 al 39), esta actividad cumplió con la *regla de homogeneidad* ya que los materiales estaban en sincronía con los criterios del apartado mencionado y con la *regla de pertinencia* porque los documentos seleccionados servirían como fuente de información para cumplir con el propósito de caracterizar las explicaciones de los profesores en formación inicial en ciencias naturales sobre la combustión.

Debido a que las respuestas de los cuestionarios fueron realizadas a mano por los estudiantes, fue necesario transcribirlas en un procesador de textos comercial (Word) para su correspondiente análisis, de esta manera se dio cumplimiento a la última actividad de esta primera fase, es decir, la *preparación del material*.

5.5.2.2. Explotación del material

Después de haber cumplido lo anterior, se prosiguió con la *desfragmentación en unidades de análisis* la cual es una actividad que corresponde a la diferenciación de los datos globales en unidades relevantes y significativas, en esta tesis la división de la información se realizó de acuerdo al *criterio temático*, el cual corresponde a tener en cuenta aquellas unidades en función del tema abordado (Rodríguez et al., 1999), aclaremos que la unidad de análisis lo conformaban los párrafos completos.

Por su parte la *codificación de los datos* “implica identificar y registrar uno o más pasajes de texto u otros datos como parte de cuadros que, en cierto sentido, ejemplifican la misma idea teórica o descriptiva” (Gibbs, 2012, p. 63), en otras palabras esta actividad consiste en asignar a cada unidad un código que describirá un segmento de texto. Teniendo en cuenta las recomendaciones de Flick (2004) y Gibbs (2012), esta tesis optó por realizar paralelamente una *codificación abierta* tratando de expresar los datos en forma de conceptos o ideas que estén en concordancia con el propósito de la investigación.

Realizada la actividad anterior, el paso siguiente fue realizar una *codificación axial* que consistió en depurar y asociar los códigos originados anteriormente, a subcategorías emergentes y estas a su vez a las categorías pertinentes.

Como consecuencia de lo anterior, se realizó la *categorización de los datos*, la cual es una herramienta que “hace posible clasificar conceptualmente las unidades que son cubiertas por un mismo tópico” (Rodríguez et al., 1999, p. 208), en otras palabras consiste en clasificar los códigos finalmente obtenidos en secciones o clases denominado con un título genérico o tópico (Bardin, 2002).

Como paso final de esta fase, se elaboró la *descripción de las categorías* y subcategorías que emergieron o que estaban preestablecidas, es decir, se indicó ¿Cuál es su significado? ¿A qué se refiere? ¿Cuál es su naturaleza o esencia? (Hernández et al., 2008, p. 650)

5.5.2.3. Tratamiento e interpretación de los resultados obtenidos

Esta última fase inició con la *selección de unidades de análisis* que resultaron significativas ya que ellas podían “hablar” o dar información relevante para el propósito y pregunta de investigación. Lo anterior sumado a la *inferencia*, dio como el resultado final la *interpretación y conceptualización*, que no es otra cosa que entender el fenómeno de estudio para generar explicaciones, para ello se hizo uso de cuadros de resultados y redes sistémicas que permitan condensar la información relevante producto del análisis.

5.6. Criterio de rigor científico considerados en esta tesis

Los criterios de validez y fiabilidad que se especifican en este apartado corresponden a una manera de legitimar el procedimiento y los resultados de la investigación que se realizó en esta tesis doctoral. Es así que se establece la validez descriptiva, validez interpretativa, validez teórica y la triangulación, así como la explicación, transparencia y contextualización y la fiabilidad interna.

5.6.1. Validez

Este criterio se puede resumir como “una cuestión de si el investigador ve lo que piensa que ve” (Kirk & Miller, 1996, pp. 21, citado por Flick, 2004, pp. 239), por ello Flick (2004, pp. 239) sustentándose en Legewie propone algunos puntos que son necesarios para garantizar la validez de los datos: que el contenido de lo que se dice sea correcto, que lo que se dice sea apropiado socialmente en su aspecto relacional y que lo que se dice sea apropiado, sincero en cuanto a la presentación de sí mismo del hablante. Igualmente, estamos de acuerdo con Camacho (2010, pp. 176) cuando expresa que “se asume la validez como un proceso en el que se evalúan los resultados de la investigación como lo suficientemente confiables para basar el trabajo desarrollado, logrando la comprensión del problema”

Al igual que investigaciones previas como las de Camacho (2010) y Cuéllar (2010), los siguientes criterios de validez mediante los que se legitimó esta investigación fueron seleccionados de acuerdo al enfoque de la metodología cualitativa (Maxwell, 1992 citado por Rodríguez et al., 1999):

- Validez descriptiva: se relaciona con la precisión de los datos recogidos en los *TCH* y las transcripciones de los cuestionarios sin ser distorsionadas.
- Validez interpretativa: es fundamental reconocer que la función del investigador consiste en comprender el significado que los datos obtenidos tienen para los participantes, a su vez, estos datos se ajustan y reducen de acuerdo a los marcos teóricos construidos y en función de las unidades de análisis seleccionadas.
- Validez teórica: corresponde a las construcciones teóricas y de significado que el investigador aportó durante el desarrollo de la investigación así como la elaboración de este documento como *teoría* de la situación estudiada fundamentándola desde la

didáctica de las ciencias experimentales, la cual se ha consolidado como un campo de investigación educativo ampliamente reconocido por su marco teórico y los aportes que se han elaborado en educación básica, media y universitaria.

- La triangulación: Como se presentó en el apartado 5.3.8, en esta tesis los datos fueron validados a través de la *Triangulación Metodológica dentro del Método* en el cual se combinaron los datos recolectados por medio del cuestionario y los *TCH*.

5.6.2. Fiabilidad

Algunas medidas para asegurar que la evaluación del procedimiento, los datos y las interpretaciones tiene la mayor coherencia interna y mayor fiabilidad posibles, es necesario acudir a los dos aspectos planteados por Flick (2004):

- La génesis de los datos: este aspecto corresponde a la procedencia de los *TCH* y los registros de calidad de los cuestionarios, en el caso de la origen de los *TCH* que fueron objeto de análisis, se puede indicar que pertenecen a artículos o capítulos de libros escritos por los científicos que participaron en la consolidación de la combustión y que fueron identificados previamente en diversos libros de historia de la química ampliamente reconocidos y referenciados en la literatura, por su parte, para el registro de los cuestionarios, se acudió a la transcripción, la cual fue una medida simple pero laboriosa ya que se debía mantener la originalidad de las explicaciones (respuestas) que elaboraron los *PFICN*.
- Los procedimientos en el campo: este aspecto hace referencia a la manera como se realizó el análisis de los *TCH* y la codificación y categorización detallada del proceso realizado con los cuestionarios. Esta fase de la investigación tuvo especial relieve para tener claridad acerca de los datos generados.

Los dos aspectos anteriores involucraron implícita y explícitamente los siguientes elementos:

- Explicación de todos y cada uno de los procedimientos realizados y los análisis efectuados por el investigador.
- Transparencia y contextualización del proceso de diseño, aplicación e ejecución de los instrumentos utilizados para recolectar datos, así como, los detalles inherentes al contexto de investigación (participantes y los *TCH*), el protocolo de invitación y consentimiento informado y la escritura del informe final de investigación.
- La fiabilidad interna estuvo relacionado con la validación de los procedimientos de análisis de los *TCH* y los cuestionarios a través de la participación y discusión en diversos eventos académicos nacionales e internacionales, publicaciones en capítulos de libro, revisión por pares expertos en la línea de investigación a la cual se adscribe esta tesis y el pilotaje del cuestionario.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1. Tres episodios históricos en la experimentación asociada a la combustión

Las ideas elaboradas sobre la combustión entre la mitad del siglo XVII y la mitad del siglo XVIII, que tradicionalmente se han estudiado, caracterizado y profundizado corresponden específicamente a las ideas elaboradas por Georg Ernest Stahl (1659 – 1743) y Antoine Laurent Lavoisier (1743 – 1794). Al primero se le adjudicó la formulación del modelo del flogisto al segundo el modelo del oxígeno para explicar los fenómenos asociados a la combustión. Adjudicar o atribuir la formulación de esos modelos únicamente a estos científicos puede ser contraproducente debido a que se estaría ignorando, desconociendo o minimizando las contribuciones de investigadores como Robert Boyle (1627 – 1691), John Mayow (1640 – 1679), Henry Cavendish (1731 – 1810), Joseph Priestley (1733 – 1804) y Carl Wilhelm Scheele (1742 – 1786) en relación a la consolidación de la combustión como una manera de comprender y entender al análisis químico.

Opuesto a lo que ha acaecido hasta el momento, en los resultados que se presentan a continuación se destacan aquellas contribuciones de los investigadores anteriores, aunque siendo conocidas por historiadores de la química como Bensaude-Vincent & Stengers (1997); Brock (1998); Ihde (1984); Leicester & Klickstein (1952) y Leicester (1967), han sido poco estudiadas y analizadas hasta el momento con el propósito de identificar aportes que favorezcan el diseño de una propuesta programática para la enseñanza de la química, por ello, lo que se pretende en este apartado es identificar puntos de conexión entre las perspectivas de los científicos estudiados.

Los procesos interpretativos de los químicos que se estudiaron, incluían aspectos teóricos y experimentales, esto significó que los dos eran considerados de forma paralela y no jerárquicamente, como tradicionalmente han sido interpretados y presentados en la química y otras disciplinas científicas. Como indique en el apartado 4.4 la propuesta de Pickering (1989) adquirió importancia ya que a través de los elementos que componen al experimento (Procedimiento Material (**PM**) – Modelo Instrumental (**MI**) – Modelo Fenoménico (**MF**)) se logró revisar algunos *TCH* escritos por los químicos y en los cuales explicitaban sus diferentes experimentos e ideas. Cada uno de estos elementos fue apoyado a través de la incorporación de fragmentos o citas textuales retomadas a partir de los *TCH* analizados, igualmente, estas se complementaban con la interpretación desde el punto de vista químico de lo que alcanzaba el científico y se relacionó el fragmento con los elementos mencionados.

Describir y narrar todo lo que aconteció en torno a la combustión sería improductivo porque ya se han llevado a cabo trabajos históricos⁸ con el propósito de lo que esta noción significó

⁸ Se destacan por ejemplo los trabajos sobre la teoría del flogisto (Partington & McKie, 1937, 1938a, 1938b, 1939) y sobre la teoría de la oxigenación (Bensaude-Vincent, 1996; Donovan, 1988; Perrin, 1988)

para el desarrollo de la química, por ello, la importancia de esta investigación radicó en realizar un *AHC* desde una mirada educativa que centrada en las descripciones experimentales asociadas a la combustión permitió alcanzar uno de los propósitos de esta tesis: Realizar el estudio histórico filosófico de la experimentación asociada a la combustión.

De acuerdo a lo anterior y teniendo en cuenta las indicaciones del apartado 5.5.1., en el siguiente apartado se describen tres episodios históricos que estuvieron asociados a la consolidación de la combustión: 1. La combustión como acción mecánica. 2. Naturaleza de la combustión. 3. Establecimiento de relaciones y nuevos retos.

6.1.1. Episodio 1: La combustión como acción mecánica

A finales del siglo XVI y mediados del siglo XVII los practicantes de la química o alquimistas⁹ asociaban la combustión con el fuego y lo categorizaban como un principio combustible. Uno de los hombres que lo categorizó de esa manera fue Philippus Theorophrastus Bombastus von Hohenheim (1483 – 1541) quien se hacía llamar Paracelso, para él, el fuego, el agua y la tierra estaban representados por el azufre (alma), el mercurio (espíritu) y la sal (cuerpo térreo) respectivamente. De esta manera, cuando arde madera “lo que ardía era el azufre; lo que se vaporizaba, el mercurio, y lo que se convertía en cenizas, la sal” (Stillman, 1924, citado por Leicester, 1967, pp. 116), esta idea hizo parte estructural de la doctrina de los *tria prima* que remplazo a la más antigua del azufre – mercurio.

Para Jan Baptista van Helmont (1580 – 1644), discípulo de Paracelso, sólo existían dos principios de los cuerpos, el *agua* (podía moldear las sustancias que se encuentran en la tierra) y el *aire* o principio organizativo activo (era un medio puramente físico que no intervenía en las transmutaciones), los cuales moldeaban las diversas formas y propiedades de las sustancias, mientras que el *fuego* no era considerado como un elemento material, sino como transformador y la *tierra* la consideraba a partir de sus observaciones experimentales como una creación por la acción de los fermentos sobre el agua (Brock, 1998). Se puede identificar que la combustión (representada exclusivamente por el fuego) para Van Helmont era una **acción mecánica** que permitía caracterizar a las sustancias “aéreas” que se desprendían en las reacciones químicas como “chaos” (gases) por su carencia de forma.

Al igual que estos dos personajes de la química, también existieron otros hombres (Georgius Agricola (1494 – 1555), Andreas Libavius (1550 – 1616)) y mujeres (Isabella Cortese (1561), Mary Sydney Herbert (1561 – 1621)) que la practicaron y lograron identificar compuestos, sustancias y elementos, diseñaron y utilizaron instrumentos y materiales en sus procedimientos experimentales que narraban a través de los documentos que escribían. Sin lugar a dudas cada uno de los trabajos que emprendían y socializaban – cuando les daban la

⁹ No asigno el rotulo de químicos porque no existía en aquella época.

oportunidad – con los grupos de científicos existentes sirvió de referencia para futuras investigaciones.

Volviendo a lo que respecta al fuego, básicamente lo catalogaban como un producto de la combustión que cumplía únicamente la función de desintegrar sustancias, sin embargo, el uso continuo del fuego en cada una de las prácticas que realizaban, empezó a llamar la atención de los futuros practicantes de la química y fue así como surgió el interés por resolver preguntas concernientes a qué permitía la producción de llama, cómo preservar la llama y cómo propagar la llama.

6.1.2. Episodio 2: Naturaleza de la combustión

Este episodio histórico se puede catalogar como una transición desde la perspectiva de los iatroquímicos y alquimistas que consideraban la combustión como una acción mecánica en la cual la importancia estaba supeditada exclusivamente al uso de la llama para facilitar la realización de los experimentos, y se dirigía hacia la comprensión de la combustión, como una reacción que se puede *producir, preservar y propagar*. Para tal efecto ubiquémonos en el Reino Unido, como principal referencia tendremos en cuenta los experimentos que Robert Boyle (1627 – 1691) incluyó en su *TCH* escrito en 1673 cuyo título era “*New experiments touching the relation betwix flame and air: and about explosions: an hydrostatical*”.

Según historiadores de la química como Brock (1998), Leicester & Klickstein (1952) y Leicester (1967) al referirse a Boyle indican que:

- En sus actividades científicas adoptaba el método baconiano.
- Aunque su ciencia favorita fue la química, es conocido principalmente por sus descubrimientos en física.
- Trabajó decididamente en los gases, razón por la cual lo asocian con el anuncio de la relación que existe entre el volumen y la presión de un gas.
- Conformaba grupos de trabajo para discutir sus investigaciones, lo que significó una innovación en la química.
- Experimentalmente se lo conoce por el uso de una bomba neumática diseñada por Robert Hooke (1635 – 1703).
- Fundamentado en la filosofía mecánico corpuscular consideraba que el fuego estaba formado por pequeños corpúsculos en movimiento.

Estas ideas sumadas a sus innumerables experimentos, son un referente para justificar que en el trabajo Boyle implícitamente estaba direccionado hacia el análisis químico, en este sentido y correlacionándolo con el episodio histórico anterior, él expresaba “que a pesar de lo que

los químicos han demostrado o enseñado, puede razonablemente ponerse en duda, hasta qué punto y qué sentido tiene, apreciar al Fuego como un Instrumento genuino y universal para el análisis de cuerpos mixtos”(Boyle, 2013, p. 19).¹⁰

Lo que demostraban y enseñaban los químicos antecesores era que la división de los cuerpos por acción del fuego determinaría el número de elementos¹¹, por ello sostenían que al quemar madera únicamente se producía llama (fuego), humo (aire), agua y cenizas (tierra), sin embargo, él posiblemente se preguntó ¿será que esos productos existen antes de la combustión? ¿Qué sucedería si realizo la quema de madera verde?, una posible respuesta la encontramos en el siguiente experimento:

Primero tomaré nota, que el *Guayacán* (por ejemplo) quemado con Fuego en una Chimenea, es secuestrado en Cenizas y Hollín, mientras que la misma Madera destilada en una Retorta produce otras Heterogeneidades, (para usar la expresión *Helmontiana*) y se separa en Aceite, Espíritu, Vinagre, Agua y Carbón. (Boyle, 2013, p. 20)¹²

Esta descripción experimental realizada por Boyle tiene implícito dos aspectos importantes desde el punto de vista químico ya que visualiza la importancia que tiene los sistemas abiertos y cerrados en realización de reacciones químicas y en este caso de la combustión de la madera e involucra la destilación como un método de separación de sustancias, aunque su comprensión no corresponde a lo que en la actualidad hace parte del conocimiento químico. En esta cita se identifica que en lugar de cuatro “elementos” él obtenía otros productos (aceite, alcohol, vinagre, agua y carbón vegetal), razón por la cual, determinó que esos resultados le servirían para sustentar que la acción del fuego no era un método efectivo de análisis (Brock, 1998). Esto coincide con párrafos anteriores cuando se indicó que el fuego era básicamente considerado simplemente un agente externo. A nivel químico el término “elemento” utilizado por Boyle también se distancia de lo que se domina en la actualidad.

Sin pretender atribuir reconocimiento exclusivo a Boyle, si es importante reconocer que fueron sus constantes demostraciones, diálogos y discusiones con los grupos a los que perteneció – Colegio invisible, la Royal Society – las que condujeron hacia los cuestionamientos sobre la **naturaleza de la combustión**, lo cual pasaría a formar parte de uno de los problemas con los que se enfrentarían los químicos del siglo XVII (Ihde, 1984).

En el *TCH* de Boyle antes mencionado, se describen varios experimentos con el interés de producir, preservar y propagar la llama sin la ayuda del aire. Al indagar en este documento teniendo en cuenta los tres elementos de los experimentos que sustenta Pickering (1989), se

¹⁰ Fragmento original: “That notwithstanding what common Chymists have proved or taught, it may reasonably enough be Doubted, how far, and in what sense, Fire ought to be esteemed the genuine and universal Instrument of analyzing mixt Bodies”

¹¹ Recordemos que en la época de Boyle elemento correspondía a las ideas aristotélicas de los cuatro elementos.

¹² Fragmento original: “I will first take notice to you, that *Guajacum* (for Instance) burnt with an open Fire in a Chimney, is sequestered into Ashes and Soot, whereas the same Wood distilled in a Retort does yield far other Heterogeneities, (to use the *Helmonian* expression) and is resolved into Oyl, Spirit, Vinager, Water and Charcoal;”

puede iniciar con la siguiente cita para ejemplificar el **PM** en uno de los experimentos de Boyle (1673):

Tomamos tres onzas de Pólvora, una dracma de Carbón quemado, una dracma y media de Salitre, estos ingredientes fueron reducidos a polvo y ágilmente mezclados sin ningún líquido, *además* utilizó una pluma de Ganso, que fue cortada, en lugar de esta también se puede utilizar una Pipa de Tabaco de dos o tres pulgadas de largo, bien tapada en el extremo, tenía su cavidad bien llena con la mezcla, (en lugar de eso, la Pólvora macerada por sí sola podría servir, si no funciona con demasiada violencia, o demasiado pronto). Para la llama, el orificio abierto de la Pluma o la Pipa fueron cuidadosamente tapadas con una cantidad suficiente de la misma mezcla, hecha con un poco de Chymical Pyle o Agua, hasta producir una consistencia. Este Fuego-Salvaje se encendía en el aire, y la Pluma o Pipa, junto con un peso, a la que estaba atada para que no ascendiera, fue lentamente colocada bajo el agua, donde continuaría ardiendo, apareció gran esmog emitido, y otras señales, hechas en el aire; la forma de la Pluma o la Pipa mantenían la mezcla seca de ser accesible para el agua (que la habría desordenado y estropeado) en cualquier otra parte del Orificio superior; y allí la corriente de fuego se emitía con violencia, al igual que incesantemente rechaza el agua vecina, y le impidió entrar en la cavidad que contenía la mezcla, y, por tanto, continuaría ardiendo hasta que se consumía¹³. (p. 74 – 75)

De este experimento surgen preguntas como ¿Qué características o propiedades tienen la pluma o la pipa de tabaco para ser consideradas como un instrumento experimental? ¿Por qué existía el interés de diversificar los medios para producir la combustión? ¿Qué combustible utilizar para evitar la ruptura del instrumento que lo contenía? Las fases del procedimiento que hacen parte de este experimento ponen en evidencia que Boyle tenía un conocimiento de cada uno de ellas, sin embargo, en esta narración de su experimento no incorporó la manera como sistematizó los datos y sólo se limitaba a describir las evidencias que a simple vista obtenía. En este y otros procedimientos se logra identificar el uso constante de instrumentos como el barómetro, la pipa de tabaco, el lente (*burning-glass*) y la bomba de aire o bomba de vacío, así como el reconocimiento de la función que puede desempeñar la

¹³ Fragmento Original: We took of Gunpowder three ounces, of well burnt Charcoal one drachm, of choice Saltpetre near a drachm and half: Which Ingredients being well reduced to powder, and diligently mingled without any liquor; either a large Goose-quill, whose feathery part was cut off, or a piece of a Tobacco-pipe of two or three inches long, and well stopped at one end, had its cavity well filled with this mixture, (instead of which, beaten Gunpowder alone might serve, if it did not operate too violently, or waste too soon:) For the kindling whereof, the open orifice of the Quill or Pipe was carefully stopped with a convenient quantity of the same mixture, made up with as little Chymical Pyle or Water, as would bring it to a it consistence. This Wild-fire was fondled in the Air, and the Quill or pipe, together with a weight, to which was tied to keep it from ascending, was slowly let down to a convenient sept under water, where it would continue to burn, as appeared by the great Smoak it emitted, and other signs, as it did in the air; because the shape of the Quill or Pipe kept the dry mixture from being accessible to the water (that would have disordered and spoiled it) at any other part than the upper Orifice; and there the stream of kindled matter issued out with such violence, as did incessantly beat off the neighboring water, and kept it from entering into the cavity that contained the mixture, which therefore would continue burning till it was consumed.

pólvora, el carbón, el salitre (nitrato de potasio), el agua, el polvo y el papel en las reacciones que requería que se produjeran.

La descripción que realizó Boyle, desde un punto de vista químico involucra explícitamente los términos mezcla, trituración y líquido, para el caso de mezcla correspondía específicamente a las homogéneas ya que buscaba que los ingredientes estuvieran en una sola fase, es aquí donde implícitamente incluye un método de procesamiento de materiales denominado trituración y cuando hace referencia a líquido lo está conceptualizando como un agente facilitador de la mezcla pero que en este caso no es necesario porque la necesita seca.

El fragmento utilizado es importante porque se logra identificar que para Boyle las acciones que realizó tenían que estar en sincronía con los instrumentos que utilizaba, por ejemplo, si la temperatura era muy alta cuando se encendía la mezcla podría averiar el recipiente (Pipa de tabaco) que la contenía y como consecuencia las conclusiones que emitiría serían escasas.

La operación de estos instrumentos pone en evidencia el **MI**, por ejemplo, el rediseño y construcción de la bomba de vacío por parte de Boyle y con el apoyo de Robert Hooke estuvo basado en la maquina neumática de Otto von Guericke (1602 – 1686), este instrumento les sirvió para investigar la naturaleza de la combustión sobre todo porque en ella introducían velas encendidas, pólvora o animales vivos, posteriormente procedían a extraer el aire que contenía el recipiente (a la ausencia de aire Boyle la denominó vacío) y acto seguido tomaban apuntes de lo que sucedía. La manipulación y coordinación de todas y cada una de las partes que integraban la bomba de vacío requería el dominio y comprensión de su funcionamiento, es decir, que ellos conocían el **MI**.

La integración del **PM** y el **MI** en algunos de los experimentos que Boyle presenta en el *TCH* que se analizó, se logró a través del **MF** mediante el cual pretendía interpretar la combustión. Iniciemos sustentando que en los ensayos que realizó fue evidente identificar que aun cuando los cuerpos que estaban encendidos eran de naturaleza muy inflamable, era difícil comunicar la llama de un cuerpo a otro, sin la ayuda del aire, por ejemplo, Boyle (1673) interpreta el experimento citado de la siguiente manera:

...sólo añadiré, que puede pretenderse en el nombre de la opinión que este experimento parece desmentir, que, no menciona que el *Aire* puede acechar en los Poros del Agua, o que puede ser interceptada entre los pequeños granos de pólvora de lo cual la mezcla se compone, El propio salitre puede ser de una textura tal, que en su propia formación los corpúsculos, que lo componen, pueden interceptar pequeñas partículas aéreas entre los muy pequeños solidos que esos corpúsculos se componen. Y esta inexistencia del Aire en el Nitro puede ser probablemente argumentado de la gran ventosidad de la llama que se produce en la deflagración de Nitro. Según esta conjetura, aunque nuestra mezcla arde bajo el agua, sin

embargo, no se quema sin aire, siendo suministrado para servir a la vez por las numerosas erupciones de las partículas aéreas del Nitro disipado¹⁴. (p. 76)

Desde el punto de vista químico Boyle en esta cita incluye términos como aire, agua, corpúsculos, partículas aéreas y deflagración; tanto en el aire como en el agua no eran conocidos los elementos que los conformaban pero si existía la interpretación de la existencia de lo que él denominaba corpúsculos y partículas aéreas, que en términos actuales serían los elementos y específicamente el oxígeno, mientras que la deflagración era utilizado como un sinónimo de la combustión en la cual no ocurría alguna explosión como sucedía con la pólvora, el cual era el principal referente, además, era una reacción química exotérmica ya que liberaba calor y la llama era una evidencia de la reacción.

Nuevamente los interrogantes que se pueden plantear serían los siguientes: ¿Cómo lograr que la llama emitida por el combustible se preserve? ¿Qué otros materiales – instrumentos pueden reemplazar la función del Aire? En esta interpretación se logra identificar el término corpúsculo. Su uso por parte de Boyle no era gratuito ya que era parte fundamental dentro de su **MF**, el cual estaba basado en la filosofía mecanicista o corpuscular¹⁵ que había conocido desde los planteamientos de Pierre Gassendi¹⁶ (1592 – 1655) y Walter Charleton (1619 – 1707) (Brock, 1998; Coronado, 1998). Dice Brock (1998) que:

Los corpúsculos de Boyle no eran ni los átomos de Epicuro y Gassendi, ni las partículas de Descartes y los cartesianos, sino que eran más útiles y a la vez más refinados que cualquiera de ellos. La filosofía mecanicista de Boyle se levantaba sobre los principios de la materia y el movimiento, las propiedades de la materia en bruto se explicaban por el tamaño, forma y movimiento de los corpúsculos, y por la interacción entre los *minima naturalis* (nuestras moléculas), cuya evidencia encontramos en los fenómenos químicos. (p. 73)

Analizamos entonces que la filosofía de Boyle era su programa intelectual mediante el cual pretendía explicar el mundo natural (Cubillos, 2003). Este imperó en todos sus experimentos e “intento utilizar los conceptos de materia y movimiento para explicar mecánicamente la

¹⁴ Fragmento original: ...I shall only add, that it may be pretended on the behalf of the opinion that this experiment seems to disprove, that, not to mention the Air that may lurk in the Pores of the Water, or that which may be intercepted between the little grains of Powder whereof the mixture consists, the Saltpetre itself may be supposed to be of such a texture, that in its very formation the corpuscles, that compose it, may intercept store of little aerial particles between the very minute solid ones which those Corpuscles are made up of. And this inexistence of the Air in Nitre may be probably argued from the great windiness of the flame that is produced upon the deflagration of Nitre. According to this surmise, though our mixture burns under water, yet it does not burn without air, being supplied with enough to serve the turn by the numerous eruptions of the aerial particles of the dissipated Nitre it felt.

¹⁵ Una revisión amplia sobre los aportes de Boyle a la química moderna se pueden encontrar en Pyle (2002) y Chalmers (2010).

¹⁶ Gassendi, partió como Epicuro, de que todos los cuerpos estarían compuestos de átomos y vacío pero eliminó el ateísmo de Epicuro (341 – 272 a. C.) afirmando que el movimiento de los tomos le habría sido otorgado por Dios cuando Él los creó. Los átomos eran impenetrables, indestructibles y aunque tendrían extensión y magnitud serían los cuerpos más pequeños que pueden existir (Cubillos, 2003, p. 51).

totalidad de las reacciones químicas y de las propiedades físicas, prescindiendo de toda clase de teorías ocultas” (Leicester, 1967, p. 136).

Con lo que se ha descrito previamente, podemos decir que el **MF** de Boyle se caracterizaba por asumir que:

- Los procesos de la combustión se comienzan a interpretar como fenómenos relacionados con la presencia de un “algo” presente en el aire (Cubillos, 2003, p. 56).
- Supuso que el fuego estaba constituido de partículas pequeñas en movimiento rápido, pues él, como la mayoría de sus contemporáneos, opinaba que la causa del calor radicaba en el movimiento (Leicester, 1967, p. 136).
- Reconoció que una parte del aire era imprescindible para que el proceso continuase la combustión (Leicester, 1967, p. 137)..
- Consideró al aire como una mezcla de diferentes clases de partículas: vapores del agua y de otras exhalaciones; una sustancia peculiar que sostenía la combustión, y las particulares fundamentales causantes de su “spring” o elasticidad (Leicester, 1967, p. 137).

Es importante destacar que los aportes de Boyle sirvieron de gran influencia para químicos como Hooke y Jhon Mayow (1643 – 1679) quienes extendieron sus ideas y también estuvieron interesados en saber sobre la naturaleza de la combustión y su relación con la atmósfera. Dice Lysaght (1937) que en el caso de Hooke, fue lamentable que el reporte experimental fuera tan escueto debido a que no escribió un tratado completo y separado sobre el tema de la combustión. Sus dos *TCH* más importantes fueron *Micrographia* publicado en 1665 y *Lampas* publicado en 1667. En estos *TCH* se puede identificar que los principales aportes fueron sobre las implicaciones teóricas en torno a la combustión.

Dichas implicaciones se evidencian en las 12 proposiciones que formuló Hooke (1664, p. 103-105), miremos las cinco primeras:

Primero, *que el Aire* en el cual vivimos, movemos y alimentamos, y el cual abarca mucho, y que atesora la mayoría de los organismos, este *Aire* es el *menstruo*, disolvente universal de todos los cuerpos *sulfurosos*.

Segundo, *que esta acción* no se lleva a cabo, hasta que el cuerpo sea primero calentado lo suficiente, nos encontramos con el requisito también a la disolución de muchos otros cuerpos por varios otros *menstruos*.

Tercero, *que esta acción* de disolución, produce o genera un gran calor, al cual llamamos Fuego; y esto es común también a muchas disoluciones de otros cuerpos, hechas por *menstruos*, de los cuales daría multitud de casos.

Cuarto, *que esta acción* es realizada con gran violencia, y no sólo actúa minuciosamente, y rápidamente agita las partes más pequeñas de la materia *combustible*, que produce en el *medio diáfano* del Aire, la acción o el pulso de luz, la cual, he demostrado en otros lugares.

Quinto, que la *disolución* de cuerpos sulfurosos están compuestos por una sustancia inherente, que se mezcla con el Aire, que es como, si fuera la misma, con la cual se ha fijado en el *Salitre*, que en multitud de experimentos se han podido hacer con el *Salitre*, lo haré, creo, que muchas evidencias se han demostrado¹⁷.

De manera interrogativa es pertinente preguntarse ¿cómo verificar experimentalmente que el Aire era un disolvente universal? ¿Por qué existía la concepción de asumir la combustión como una disolución? ¿Cuáles eran los cuerpos que se “disolvían”? Estos postulados sobre la combustión permiten decir que para Hooke lo que existía era un Elemento del Fuego que produce una llama y que no es más que una mezcla de Aire con la parte volátil sulfurosa de la disolución o del cuerpo combustible, que va actuando mientras asciende, que la llama es vista como una mezcla de Aire, y la parte volátil combustible de cualquier cuerpo. Pero una vez que se entiende bien, no dudó que el aire, es el verdadero motivo de todo el Fenómeno del Fuego (Turner, 1956).

Hooke hace referencia a términos como disolvente y disolución e incluye expresiones como “genera un gran calor” y “las partes más pequeñas de la materia”, desde el punto de vista químico, se puede interpretar, que existía una conceptualización de las propiedades generales de las disoluciones, sin embargo, la aplicabilidad del término disolución no era para sustancias acuosas sino porque los cambios que se observaban involucraban mezclas homogéneas y en el caso del disolvente si se acercaba la manera como en la actualidad es conceptualizado, es decir, como la sustancia que está en mayor cantidad, que en su caso se refería al *Aire*.

Por su parte la expresión “genera un gran calor” podría interpretarse como una característica de lo que en la actualidad se conoce como reacción química exotérmica y en el caso de la expresión “las partes más pequeñas de la materia” permite entrever que en sus explicaciones si se concebía la divisibilidad de la materia y por lo tanto se estaba acercando posiblemente al atomismo que emergería en años posteriores.

¹⁷ First, that the Air in which we live, move, and breath, and which encompasses very many, and cherishes most bodies it encompasses, that this Air is the menstruum, or universal dissolvent of all sulfurous bodies.

Secondly, that this action it performs not, till the body be first sufficiently heated, as we find requisite also to the dissolution of many other bodies by several other menstruums.

Thirdly, that this action of dissolution produces or generates a very great heat, and that which we call Fire; and this is common also to many dissolutions of other bodies, made by menstruums, of which I could Give multitudes of Instances.

Fourthly, that this action is performed with so great a violence, and does so minutely act, and rapidly agitate the smallest parts of the combustible matter, that it produces in the diaphanous medium of the Air, the action or pulse of light, which what it is, I have elsewhere already shewn.

Fifthly, that the dissolution of sulphureous bodies is made by a substance inherente, and mixt with the Air, that is like, if not the very same, whit that which is fixt in Saltpetre, which by multitudes of Experiments that may be made with Saltpetre, will, I think, most evidently be demonstrated.

Otro aspecto que es importante sustentar es que en los postulados sobre la combustión formulados por Hooke, estuvo influenciada por dos perspectivas. Por un lado, estaba la propuesta de Silvio de los dos elementos ácido – álcali, y a esta se le sumaba, una perspectiva meteorológica. Estas dos perspectivas le permitían relacionarlo que ocurría con los truenos y los rayos con la explosión y el fogonazo de la pólvora, además, él consideraba al aire como un “disolvente universal”, lo cual prgducía gran cantidad de calor y fuego y la materia sulfurosa disuelta volaba hacia arriba convertida en aire, finalmente, destaquemos que a diferencia de sus contemporáneos, Hooke comprendía la combustión como combinación química entre el solvente y el soluto y no como un proceso físico (Brock, 1998; Turner, 1956).

Por su parte, Mayow (1674) como contemporáneo de los dos químicos anteriores y partidario del trabajo que ellos realizaban, también se orientó hacia la realización de experimentos asociados a la combustión. Él también se interesó en la comprensión de la naturaleza de la combustión. Por ejemplo, en los capítulos 3 (*On the nature of nitro-aerial and igneous spirit*) y 7 (*That the elastic power of air is due to nitro-aerial spirit. Also, if the manner in which air is impregnated anew with nitro-aerial particles. Incidentally, of the elements of fire and of cold*) de su *TCH Medico-physical Works: Being a Translation of Tractatus Quinque Medico-physici*, describió y explicó algunos experimentos sobre la combustión.

La siguiente cita de Mayow (1674) puede catalogarse como un dato en el cual se logra identificar el **PM** que incorporaba en uno de sus experimentos:

Para permitir que cualquier material combustible puede dar fácilmente el fuego se suspende en una copa de cristal invertida tan grande como se pueda tener, como se muestra en la Lámina V, Fig. I (Estoy habituado a suspender un poco de alcanfor en un pequeño pedazo de lino, carbonizado del modo habitual en la yesca y bañado en el Azufre derretido, y amarrado). Cuando esto se ha hecho, dejar que la copa de cristal invertida se sumerja en el agua cerca de diez dedos de ancho de modo que el agua encerrada en el vaso puede estar en el mismo nivel que el agua en el exterior, lo que puede hacerse, con bastante facilidad, por medio de la inclinación de un sifón ya descrito; y por último, deje que el agua externa se retire hasta que el nivel del agua dentro sea igual que la del agua en el exterior, de modo que sea más claramente visto, o mejor, dejar que la copa de cristal se transfiera a otro recipiente y menos profunda colocando debajo de ella un pequeño recipiente, lo suficientemente grande, sin embargo, recibir la boca de la copa de cristal, y luego transferir el pequeño recipiente lleno de agua, junto con la copa de cristal que descansa sobre ella, en un recipiente adecuado casi lleno de agua. Y dejar que la copa de cristal permanezca allí hasta que el aire calentado por las manos del operador se haya condensado a su estado original. Y luego, por último, dejar que la altura del agua dentro se note por los papeles colocados aquí y allá a los lados del vidrio por medio de una pasta hecha de harina de cebada hervida en agua. Ahora deje que la copa de cristal quede expuesta a los rayos del sol y deje que el alcanfor o el otro material combustible encerrado en ella se encienda por medio de una lente (*burning-glass*), por primera iluminación del mencionado lino azufrado colocado bajo la materia combustible. Cuando esto ha sido hecho verá que el agua desciende dentro a causa de la agitación de las partículas de fuego, y el enrarecimiento del aire en el interior. Cuando la luz se ha apagado

dejar que la copa de cristal y el pequeño recipiente en el que descansa se remueva de los rayos del sol, que el aire encerrado en ella puede enfriar de nuevo y retorne a su antigua condición, y luego se encontrará con que el agua dentro ha aumentado por encima del punto marcado al inicio. Y en efecto he encontrado por cálculos que el volumen del aire ha sido reducido aproximadamente una trigésima parte por la quema de la luz.

Después que el esmog de la quema de la luz con la que se llenó la copa de cristal había desaparecido por completo y el vidrio se había vuelto tan brillante dentro como en un principio, traté de encender la luz en una segunda vez lanzando los rayos solares sobre otra pieza de alcanfor, suspendido en el vidrio de la misma manera que antes, pero el experimento no tuvo éxito-una prueba suficientemente clara que el aire, por encenderse con la luz, había sido privado de sus partículas-ígneas aéreas, a fin de ser bastante no aptos para sostener la llama de nuevo¹⁸. (p. 70 – 71)

De la cita anterior, podemos destacar preguntas como ¿Cómo identificar que un material combustible puede emitir fácilmente fuego? ¿Qué relación existe entre la reducción del volumen del agua con el desplazamiento del agua dentro del recipiente? ¿Por qué al tratar de encender un segundo material combustible dentro del mismo recipiente no tuvo éxito? Además, acciones como “permitir que cualquier material combustible puede dar fácilmente el fuego se suspende en una copa de cristal invertida tan grande como se puede tener” y “deje que el agua externa se retire hasta que el nivel del agua dentro sea igual que la del agua en el exterior” pueden catalogarse como evidencia de las condiciones que procedimentalmente se debían cumplir para alcanzar el objetivo de verificar los efectos que producen las “partículas

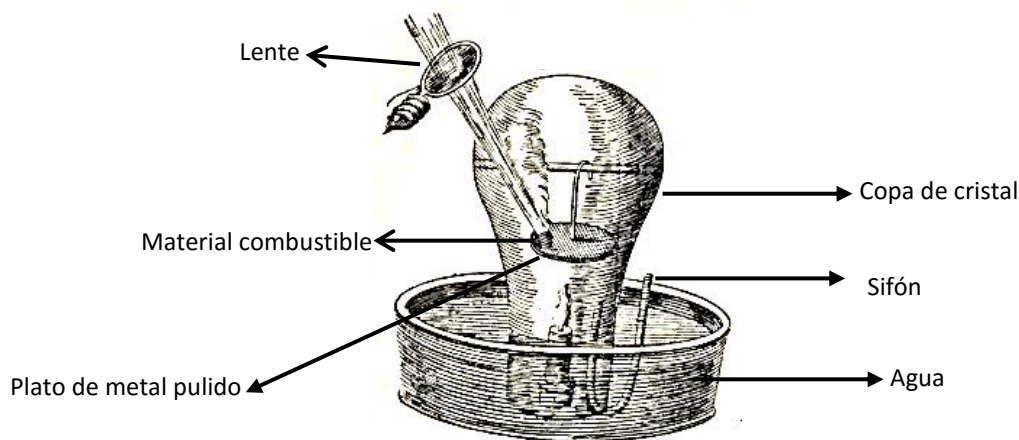
¹⁸ Fragmento original: For let any combustible material which will readily take fire be suspended in an inverted cupping-glass as large as can be had, as is shown in Plate V., Fig I (I am myself in the habit of suspending a bit of camphor to which a small piece of linen, charred in the usual way into tinder and dipped in melted Sulphur, is attached). When this has been done, let the inverted cupping-glass be immersed in the water about ten finger-breadths so that the water enclosed in the glass may be at the same level as the water outside, which can be done, easily enough, by means of the bent syphon already described; and lastly, let the water outside be drawn off until the level of the water within is higher than that of the water outside, so that it may be more distinctly seen, or better, let the cupping-glass be transferred to another and shallower vessel by placing under it a small vessel, big enough, however, to receive the mouth of the cupping-glass, and then transferring the small vessel filled with water, together with the cupping-glass resting upon it, into a suitable vessel almost full of water. And let the cupping-glass remain there until the air heated by the hands of the operator has been condensed to its original state. And then, lastly, let the height of the water within be noted by papers affixed here and there to the sides of the glass by means of a paste made of barley-meal boiled in water. Now let the cupping-glass be exposed to the rays of the sun and let the camphor or other combustible matter enclosed in it be kindled by means of a burning-glass, by first lighting the aforesaid sulphured linen placed under the combustible matter. When this has been done you will see the water within descend on account of the agitation of the fiery particles, and the rarefaction of the air inside. When the light has gone out let the cupping-glass and the small vessel on which it rests be removed from the sun's rays, that the air enclosed in it may cool again and return to its former condition, and then you will find that the water within has risen above the point marked at first. And indeed I have found by calculation that the air has been reduced in volume by about one-thirtieth by the burning of the light. After the smoke of the burning light with which the cupping-glass was filled had entirely disappeared and the glass had become as bright within as at first, I tried to kindle the light a second time by throwing the solar rays upon another piece of camphor, suspended in the glass in the same way as before, but the experiment did not succeed, – a sufficiently clear proof that the air had been, by the burning of the light, deprived of its igneo-aërial particles, so as to be quite unfit for sustaining flame anew.

de fuego” que se emiten cuando se enciende el material combustible, por su parte, la acción de “traté de encender la luz en una segunda vez lanzando los rayos solares sobre otra pieza de alcanfor” le sirvió a Mayow para demostrar que el aire había perdido las “partículas ígneo-aéreas” que favorecían la producción de llama.

Al igual que sus compañeros investigadores, Mayow también incluyó algunos puntos de vista químico, por ejemplo, reconocía que uno de los elementos que participaba en la combustión era lo que él denominaba material combustible y que era fundamental conocer sus propiedades o características ya que dependiendo de ellas debía aumentar la temperatura para que se produjera la ignición de dicho combustible, así mismo, en la expresión “traté de encender la luz en una segunda vez lanzando los rayos solares sobre otra pieza de alcanfor” se puede identificar que al utilizar rayos solares, estaba reconociendo la importancia que tiene la temperatura de ignición para que se lleve a cabo la combustión. Debido a que realizaba el proceso en un sistema cerrado, también había logrado comprender la condensación como un cambio de fase de gas a líquido y por ello colocaba las manos en el recipiente de vidrio para cambiar la temperatura.

En concordancia con las condiciones que hacían parte del procedimiento realizado por Mayow, también podemos identificar que él incorporaba en sus experimentos instrumentos como copa de cristal, vaso, lente (*burning-glass*), sifón, plato de metal pulido, agua y material combustible (alcanfor) y los representó a través de lo que él denomina figura I (ver Imagen 1). Esto nos permite sustentar que poseía un **MI** sobre el funcionamiento de cada uno de ellos, por ejemplo, cuando escribió “dejar que la copa de cristal invertida se sumerja en el agua cerca de diez dedos de ancho de modo que el agua encerrada en el vaso puede estar en el mismo nivel que el agua en el exterior, lo que puede hacerse, con bastante facilidad, por medio de la inclinación de un sifón”, se puede destacar que reconocía que el sifón sería el instrumento mediante el cual lograría expulsar el volumen de aire suficiente para que todo el sistema estuviera en las condiciones que le permitirían observar los cambios que ocurren cuando se enciende el material combustible.

Imagen 1. Instrumentos utilizados por Mayow. Fuente: tomada de Mayow (1674)



Otro ejemplo que está en concordancia con lo anterior, es cuando Mayow escribió “deje que la copa de cristal quede expuesta a los rayos del sol y deje que el alcanfor o el otro material combustible encerrado en ella se encienda por medio de una lente (*burning-glass*)”. En este caso se puede decir que él conocía perfectamente que al exponer el alcanfor o cualquier material combustible a los rayos del sol se encendería fácilmente, de lo contrario le hubiese tocado que introducirlo encendido, pero eso afectaría las condiciones del experimento.

Al finalizar el experimento, Mayow escribió “una prueba suficientemente clara que el aire, por encenderse con la luz, había sido privado de sus partículas-ígneas aéreas, a fin de ser bastante no aptos para sostener la llama de nuevo”. Esta frase aparece explícito su **MF**, es decir, que para él esas partículas eran las que estructuraban y favorecían la combustión y sobre todo la producción de llama, sin embargo, debido a que eran tan finas y sutiles no podían observarse a simple vista. Sus ideas estaban en coordinación con la perspectiva nitro – aérea que había desarrollado y que le permitía interpretar que un fenómeno como las llamas de la combustión era un proceso en el cual participaba lo que él llamó el *espíritu nitro aéreo* (*spiritus aeris nitrosus*) (Cubillos, 2003).

Si comparamos la perspectiva de Mayow con la de Hooke, la única diferencia que posiblemente encontremos corresponde a los términos que utilizan para referirse al constituyente activo del aire, es decir, mientras Hooke hacía referencia a “*aire nitroso*” Mayow utilizaba “*espíritu nitro-aéreo*”, sin embargo, un historiador de la química como Partington (1956) dice que Hooke usó por primera vez su término en 1682 después de la publicación de Mayow y con esto se lograría defender la autenticidad del uso de sus términos.

6.1.3. Episodio 3: Establecimiento de relaciones y nuevos retos

Aunque al diálogo, comunicación y divulgación que se realizaba entre las diferentes comunidades existentes tardaba en llevarse a cabo, algunos de los aportes experimentales y teóricos anteriores fueron retomados, estudiados y analizados, y otros fueron olvidados, relegados y desconocidos por los químicos. Por ello, en este episodio histórico, se intenta continuar con la presentación de un panorama que asociado a la combustión ponga en escena la vinculación de una serie de acciones experimentales y teóricas que estuvieron orientadas hacia la comprensión y **establecimiento de relaciones y nuevos retos** en el camino discontinuo que emprendería la química.

En la historia de la química uno de los experimentos que es ampliamente referenciado y replicado es el que se realiza con la vela, esto se puede evidenciar en el **PM** siguiente:

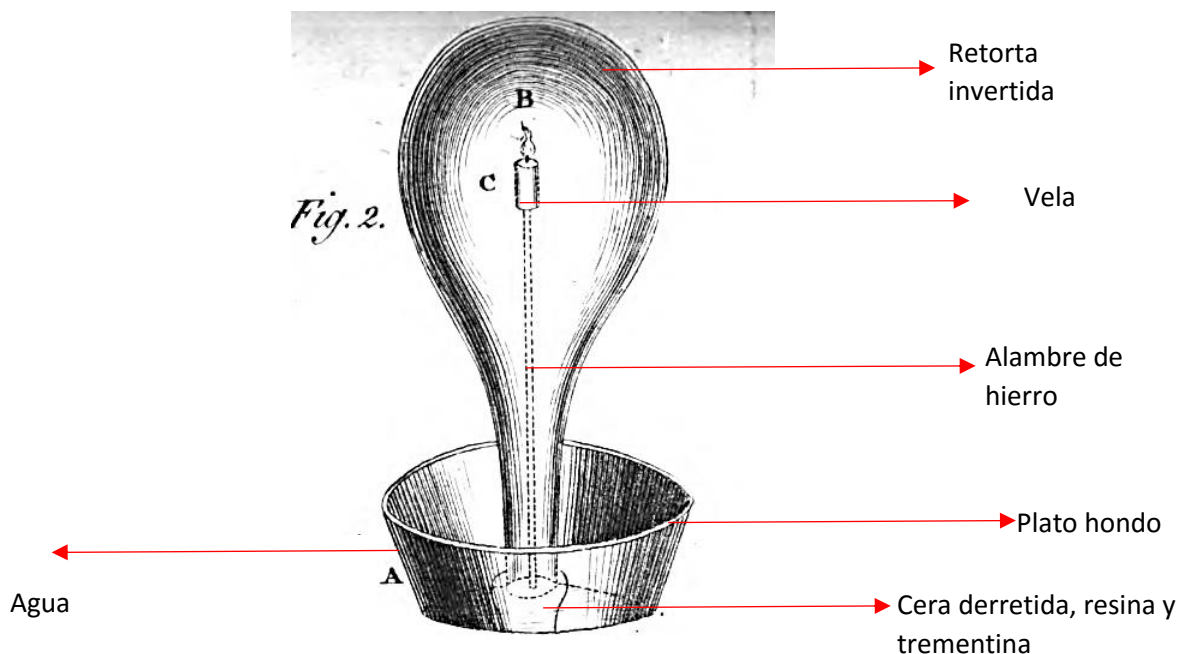
Puse una vela encendida en un plato lleno de agua, y luego cubrí la vela con una retorta invertida; inmediatamente después de esto, grandes burbujas de aire salieron del agua, que fueron causadas por el aire expandido por el calor en la retorta; cuando la llama disminuyó en tamaño, el agua comenzó a aumentar en la retorta; después de que el fuego se extinguió,

y la retorta se enfriara, encontré que su cuarta parte estaba llena de agua¹⁹. (Scheele, 1780, p. 19)

La cita anterior desde un punto de vista químico se puede interpretar como el reconocimiento de la reacción de combustión que ocurre al interior de la retorta, es más, destaca la importancia del aire en el recipiente y posiblemente esto lo lleva a justificar que algo se absorbe o libera de la reacción. Aunque para el **PM** citado no existe una ilustración, Scheele si incorporó y describió algunos instrumentos (Imagen 2) en los cuales se logra identificar su **MI**, por ejemplo, para él era fundamental que existiera la forma de visualizar la diferencia entre la cantidad de aire que estaban al interior de la retorta invertida al inicio del experimento y lo que obtenía al finalizar, es así que la llama de la vela era un indicador del consumo o desprendimiento de algún tipo de aire.

Para Scheele este proceso de experimentar sobre las partes constituyentes del fuego favoreció en su época generar investigaciones sobre el aire, razón por la cual el presenta pruebas mediante las cuales indicaba que una clase de aire, que decidió llamarla *empyrean Air* (Aire del Fuego) y que existía en la atmosfera, era uno de los constituyentes que contribuía a la existencia y soporte de la llama.

Imagen 2. Instrumentos utilizados por Scheele. Fuente: tomada de Scheele (1780)



¹⁹ Fragmento original: I put a burning candle into a dish filled with water, and then covered the candle with an inverted retort: immediately after this, great air bubbles rose out of the water, which were caused by the expanded air from the heat in the retort; when the flame decreased in size the water began to mount into the retort; after the flame was extinguished, and the retort grown cold, I found its fourth part filled with water

Ahora bien, la revisión, estudio y análisis de diversos experimentos históricos permitió identificar que Mayow (1907, p. 68) también lo había realizado previamente, la manera como describió su **PM** fue así:

Coloque una vela encendida en agua de tal manera que la mecha quede cerca de seis dedos de ancho por encima del agua, y luego deje que una copa de cristal invertida de altura suficiente sea expuesta a la luz y sea sumergida inmediatamente en el agua que rodea la luz...debe tenerse en cuenta que la superficie del agua encerrada dentro del vidrio esté al mismo nivel que el agua... dejar que la copa de cristal se fije firmemente para que pueda descender en el agua, y usted verá, mientras que la luz todavía se quema, que el agua se levanta poco a poco en la cavidad de la copa de cristal²⁰.

Tenemos entonces que en los **PM** de Scheele y Mayow se describen observaciones que difieren exclusivamente en la identificación de burbujas que salían del agua pero coinciden en el aumento de nivel del agua al interior de la retorta y copa de cristal y que la llama de la vela se extinguía, para ambos las preguntas que posiblemente los orientaron fueron ¿A qué se debe la extinción de la llama? ¿La vela encendida qué absorbe del interior de la retorta y copa de cristal? ¿Qué se libera de la vela cuando se apaga en la retorta y copa de cristal?

Orientado por los resultados experimentales que obtenían y la enunciación de las preguntas anteriores, Scheele logró formular un **MF** mediante el cual afirmaba que “el calor es el fuego elemental; y allí de nuevo, es el efecto del fuego...la luz se difunde a través de todo el espacio de nuestro mundo, por el impulso del fuego elemental, que se pone en un movimiento rectilíneo” (Scheele, 1780, p. 101), de esta manera, se alejaba de las contradicciones a las que habían llegado los químicos sobre el fuego ya que unos decían que el calor era fuego y otros que la luz era fuego.

Dice Ihde (1984, p. 52) que Scheele

creía que el aire combinado con el flogisto escapaba de la sustancia combustible y como resultado se reducía el volumen. Él asumía que el flogisto combinado con un componente del aire común y escapaba como calor. Este componente lo llamó “Aire del Fuego” y él lo había aislado

De acuerdo a lo anterior, el término que soportaba el **MF** de Scheele (1780) era el flogisto²¹ al que consideraba como

1. Un elemento verdadero y un principio simple. 2. Puede, por el poder de retención transferirse de un cuerpo a otro; estos cuerpos luego de someterse a cambios importantes, a

²⁰ Fragmento original: let a burning candle be placed in water so that the wick may stand about six finger-breadths above the water, and then let an inverted cupping-glass of sufficient height be put over the light and plunged immediately into the water surrounding the light, as is shown in Plate V., Fig. I. Care, however, must be taken that the surface of the water enclosed within the glass be at the same level as the water without... let the cupping-glass be firmly fixed so that it may descend no further into the water, and you will presently see, while the light still burns, the water rising gradually into the cavity of the cupping-glass.

²¹ La profundización sobre el flogisto será dada más adelante.

las que pocas veces están habilitados, por el efecto de las partículas de insinuarse en los intersticios de los cuerpos, para repasar sobre la fusión, o incluso en vapores elásticos; y esto indica que es la causa principal de su olor...5. Este elemento entra y sale de las sustancias y se unen con el *empyreal Air* el cual penetra los poros de todos los cuerpos²². (P. 103-104)

En el caso de Mayow, vimos previamente que su **MF** le permitía concebir la combustión como un proceso en el cual participaba lo que él llamó el *espíritu nitro aéreo* (*spiritus nitro-aereus*), es decir, una sustancia como la que existía en el nitro y que en el laboratorio se veía que avivaba la llama de una vela, a partir de esta hipótesis propuso que el aire estaría compuesto por lo menos de dos partes, el nitro responsable de la combustión y otro constituyente inerte (Cubillos, 2003).

Estos experimentos incluyen como instrumentos fundamentales la retorta, la copa de cristal, el agua y la vela encendida, por ello se puede decir que el funcionamiento de cada uno de ellos está íntimamente relacionado con el **MI** que estos científicos tenían, en otras palabras, la manipulación, sincronización y uso de estos significaba que los científicos conocían cómo emplearlos e interpretar los resultados que obtenían.

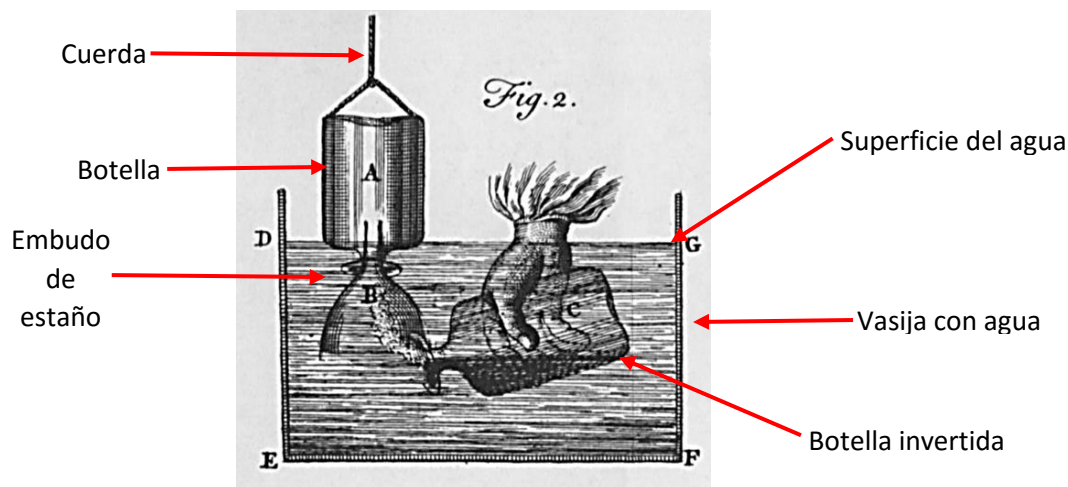
Un científico como Henry Cavendish también realizó experimentos sobre combustión, aunque sus intereses estaban focalizados en observar lo que ocurría cuando acercaba la llama de una lámpara a un aire que había identificado y que denominó aire inflamable (hidrógeno en la actualidad), en este sentido la Imagen 3 es una ilustración de uno de los **PM** de Cavendish (1766, p. 147) que narraba así:

Parte del aire inflamable, producido mediante la disolución de zinc en aceite de vitriolo diluido, se mezcló con aire común en varias proporciones diferentes, y la inflamabilidad de estas mezclas probadas uno tras otra de esta manera. Un cuarto de botella fue llenada con una de estas mezclas, en la forma representada en la figura 2. La botella se saca del agua, puesta en posición vertical sobre una mesa, y la llama de una lámpara o un pedazo de papel con luz aplicada a su boca. Pero, con el fin de evitar que el aire incluido se mezcle con el aire antes que la llama fuera aplicada, la boca de la botella se cubría, mientras se hundía en el agua, con una capa hecha de una pieza de madera cubierta con tela de lino; mientras la capa no fuera removida al instante que la llama fuera aplicada²³.

²² Fragmento original: 1. Is a true element and a simple principle. 2. It can,, by the retentive power of certain matters, be transferred from one body into the other; these bodies then undergoing material changes, so that not seldom they are enabled, by the effect of the particles insinuating themselves in the interstices of bodies, to go over into fusion, or even into elastic vapours; and in this state it is the chief cause of smelling...5. This element enters into so close and subtle an union with *empyreal Air* that it even penetrates through the most subtle pores of all bodies.

²³ Fragmento original: Some of the inflammable air, produced by dissolving zinc in diluted oil of vitriol, was mixed with common air in several different proportions, and the inflammability of these mixtures tried one after the other in this manner. A quart bottle was filled with one of these mixtures, in the manner represented in Fig.2. The bottle was then taken out of the water, set upright on a table, and the flame of a lamp or piece of lighted paper applied to its mouth. But, in order to prevent the included air from mixing with the out ward air, before the flame could be applied, the mouth of the bottle was covered, while under water, with a cap made of a piece

Imagen 3. Instrumentos utilizados por Cavendish. Fuente: tomada de Cavendish (1766)



Es interesante identificar nuevamente en Cavendish términos químicos como disolución, diluidos, proporciones, inflamabilidad y mezclas y sobre todo porque en la actualidad aún son utilizados en los procesos de comunicación, la interpretación desde un punto de vista químico permite señalar que la combustión era una transformación química en la que se involucraban diversos aspectos tanto de índole teórico como experimental, y por ello la comprensión de esta reacción no era tan fácil e implicaba la revisión y conocimiento de investigaciones precedentes que estuvieron orientadas en la búsqueda de respuestas a problemas similares.

La realización de varios experimentos con cantidades diferentes de aires que integraban la mezcla le permitió manifestar que el aire inflamable no se podía quemar sin la asistencia de aire común y en la interpretación que elaboraba del mismo lograba incluir su **MF** mediante el cual asumía que el aire inflamable era un compuesto del flogisto y por lo tanto le otorga propiedades inflamables, miremos:

Hemos visto hasta aquí, que, cuando alguna de las sustancias metálicas mencionadas son disueltas en espíritu de la sal, o diluida en ácido vitriólico, su flogisto sale, sin haber cambiado su naturaleza por el ácido, y forma el aire inflamable; pero que, cuando son disueltos en ácido nitroso, o unido por el calor al ácido vitriólico, su flogisto se une a parte del ácido usado para su solución, y sale como humo, el flogisto pierde su propiedad inflamable por la unión²⁴. (Cavendish, 1766, p. 145)

of wood covered with a few folds of linnen; which cap was not removed till the instant that the flame was applied.

²⁴ Fragmento original: It seems likely from hence, that, when either of the above-mentioned metallic substances are dissolved in spirit of salt, or diluted vitriolic acid, their phlogiston flies off, without having its nature changed by the acid, and forms the inflammable air; but that, when they are dissolved into the nitrous acid, or united by heat to the vitriolic acid, their phlogiston unites to part of the acid used for their solution, and flies off with it in fumes, the phlogiston losing its inflammable property by the union.

En esta cita Cavendish es significativo identificar que el conocimiento químico que había construido sobre las reacciones de los ácidos con los metales era amplia y le permitía reconocer los diversos gases y sales que se producían, y a través de su conceptualización mediada por el modelo del flogisto, le permitía consolidar su comprensión de dicho principio como lo denominó Sthal.

Demos paso ahora a las acciones que realizaba el clérigo Joseph Priestley; en su caso, uno de sus **PM** era el siguiente:

A veces he pensado, esa llama dispone el aire común para depositar el aire fijo que contiene; pues si cualquier agua de cal está expuesta a él, inmediatamente se vuelve turbia... Si el azufre quemado en las mismas circunstancias, el agua de cal continúa transparente, pero aún no puede haber sido la misma precipitación de la parte fija del aire; pero que, uniendo con la cal y el ácido vitriólico, se forma una sal selenética, que es soluble en agua. Habiendo evaporado una cantidad de agua impregnada, por la quema de azufre un gran número de veces, un polvo blanquecino permanecido, tenía un sabor ácido; pero repitiendo el experimento con una evaporación más rápida, el polvo no tenía la acidez, pero era muy parecido a la tiza²⁵. (Priestley, 1775, p. 44)

La interpretación que realizó sobre lo que ocurría es que el aire por ser más ligero que el aire común, favorecía la hipótesis de que este fija la parte más pesada del aire común después de haber sido precipitada. Estas ideas están en concordancia con su **MF**, el cual se sustentaba a partir del uso del modelo del flogisto, a partir de este decidió llamar “aire desflogisticado” a uno de esos “aires” que había obtenido y caracterizado, es más, su razonamiento le permitió enunciar que al realizar “la combustión de una vela en un recipiente cerrado, según su paradigma se desprendía flogisto que llenaba el aire hasta que se apagaba la vela, mientras el gas que había obtenido la hacía arder con llama más brillante, entonces no debería contener nada de flogisto” (Cubillos, 2003, p. 64).

Desde el punto de vista químico, los dos términos químicos que Priestley incorporó en su cita fueron evaporación y precipitación, estos dos hacen referencia a las evidencias que se pueden identificar cuando ocurren cambios de fase de un líquido a un gas y cuando se obtiene un producto insoluble que se separa de la disolución.

Destaquemos que la laboriosidad experimental efectuada por Priestley le sirvió para diferenciar varios “aires” – en términos actuales serían los gases –, entre ellos, los óxidos de

²⁵ Fragmento original: I have sometimes thought, that flame disposes the common air to deposit the fixed air it contains; for if any lime-water be exposed to it, it immediately becomes turbid... If brimstone be burned in the same circumstances, the lime water continues transparent, but still there may have been the same precipitation of the fixed part of the air; but that, uniting with the lime and the vitriolic acid, it forms a selenetic salt, which is soluble in water. Having evaporated a quantity of water thus impregnated, by burning brimstone a great number of times over it, a whitish powder remained, which had an acid taste; but repeating the experiment with a quicker evaporation, the powder had no acidity, but was very much like chalk. The burning of brimstone but once over a quantity of lime-water, will affect it in such a manner, that breathing into it will not make it turbid, which otherwise it always presently does.

azufre y de nitrógeno, el monóxido de carbono, el cloruro de hidrógeno y el oxígeno (Bertomeu & García-Belmar, 2006; Leicester & Klickstein, 1952).

Doy paso ahora a uno de los **PM** de un científico como Lavoisier (1982) y lo acompaño de la Imagen 4 donde se ilustran los instrumentos que incluía, miremos:

Para llevar a cabo la combustión del fósforo o del carbón, se empieza por llenar de gas oxígeno, en el aparato pneumato-químico de agua (lám. V, figura 1), una campana de por lo menos 6 pintas de capacidad. Cuando esté llena hasta el borde y el gas comience a salir por debajo de ella, se lleva esta campana A al aparato de mercurio (lám. IV, fig. 3), con la ayuda de un platillo de vidrio o cerámica que se pasa por debajo. Concluida la operación, se seca bien con un papel de estraza la superficie del mercurio, tanto la interior como la exterior de la campana. Esta labor exige tomar algunas precauciones: si no se tiene cuidado de mantener al papel de estraza durante algún tiempo totalmente sumergido en el mercurio antes de introducirlo en la campana, entraría con él aire común, por la fuerte adherencia que tiene éste con el papel.

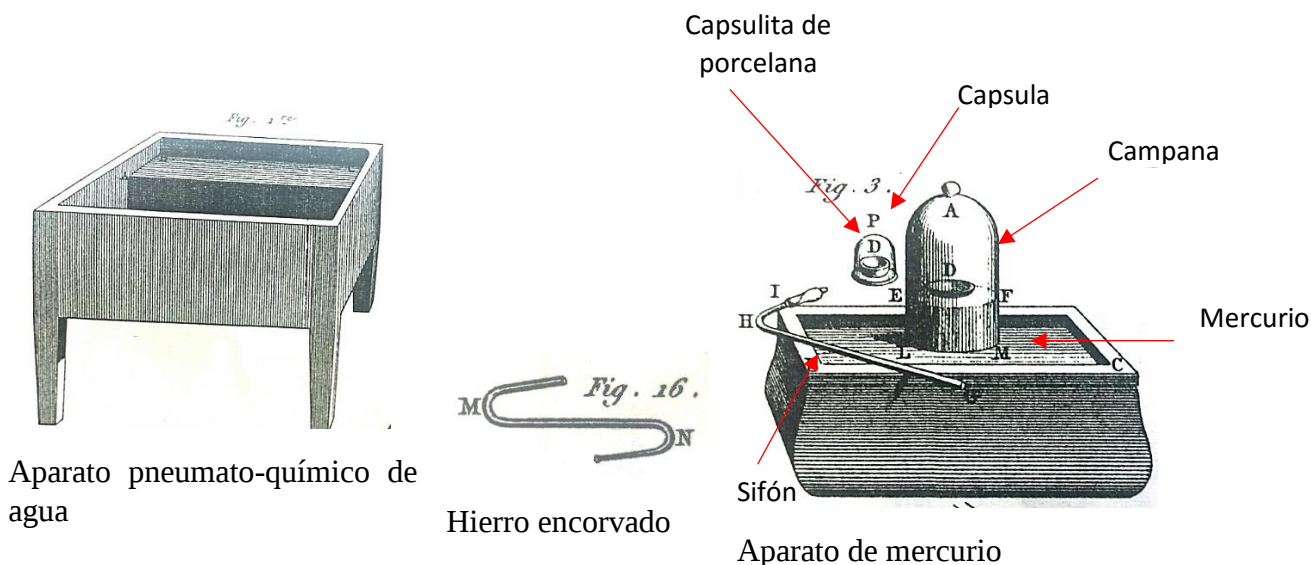
Se tiene, además, una capsulita D de hierro o porcelana, plana y ensanchada, donde se pone el cuerpo que se quiere quemar, después de haber determinado con gran exactitud su peso en una balanza de precisión; a continuación se cubre esta cápsula con otra más grande P, que hace respecto a ella el papel de campana de buzo, y todo se hace pasar a través del mercurio, pues, en cierto modo sólo servía como tapadera.

Cuando la cápsula se encuentre ya bajo la campana (lám. IV, fig. 3), se succiona una parte del gas oxígeno que contiene para elevar el mercurio hasta el nivel EF. Si no se toma esta precaución, una vez que el cuerpo combustible empezara a arder, el calor producido dilataría el aire y escaparía una parte de éste por debajo de la campana, lo que malograría la exactitud de los cálculos que se pudiesen hacer. Para succionar el aire se utiliza un sifón GHI que se introduce por debajo de la campana, y que lleva enrollado en su extremo I un trocito de papel para que no se llene de mercurio...utilizar una pequeña bomba adaptada al sifón GHI; con ella se eleva el mercurio a la altura que se desee, siempre que no pase de las 28 pulgadas.

Si el cuerpo combustible es muy inflamable, como le sucede al fósforo, se introduce con rapidez un hierro encorvado MN (lám. IV, fig. 16) y calentado al rojo, que al ponerse en contacto con el fósforo lo inflama. Para encender cuerpos menos combustibles como el hierro, algunos otros metales, el carbón, etc., se utiliza un trocito de yesca sobre el que se pone una partícula de fósforo; se enciende este último con el hierro encorvado y al rojo, el fuego se comunica a la yesca y después al cuerpo combustible.

Al iniciarse la combustión, el aire se dilata y el mercurio desciende; pero cuando no se forma ningún fluido elástico, como ocurre en la combustión del hierro y del fósforo, se produce pronto una absorción sensible y el mercurio sube en la campana a una gran altura. Por consiguiente, hay que tener mucho cuidado de no quemar una cantidad demasiado grande de cuerpo combustible en una cantidad dada de aire, porque de lo contrario la cápsula, hacia el final de la combustión, se aproximaría excesivamente a la cúpula de la campana, y junto con el elevado calor podría ocasionar su fractura. (p. 430)

Imagen 4. Instrumentos utilizados por Lavoisier. Fuente: tomada de Lavoisier (1982)



En términos generales los tres fragmentos que conforman el **PM** realizado por cada científico, muestran algunas conexiones que permiten visualizar el dinamismo por el cual atravesó el estudio del fenómeno de la combustión. Una de esas conexiones estaba dirigida hacia el interés por cambiar y ensayar lo que ocurría con materiales inorgánicos, por ello, decidieron observar lo que ocurría en la combustión del azufre, una mezcla de “aires” y el fósforo. Sin embargo, en las acciones que realizaban y describían es indudable que existían diferencias en la inclusión de los detalles que hacían parte del experimento, esto significaba que el **PM** iba tornándose cada vez más metódico y que los pormenores que se ponían a disposición de los integrantes de colectivos, que no estaban presentes en el momento de la experimentación, les permitía representarse e imaginarse lo que estaba ocurriendo y sobre todo les favorecía la replicación de los mismos.

En sus descripciones se identifica que el **MI** se reflejaba a través del uso de instrumentos y materiales que permitían recolectar información útil y necesaria para la obtención de resultados, por ejemplo:

- En el caso de Priestley dos de sus instrumentos más utilizados fueron la cuba hidroneumática y el eudiómetro, el primero le sirvió para recolectar gases y el segundo para determinar la pureza de los gases.
- Para Cavendish era significativo porque favoreció la identificación del *aire inflamable* (hidrógeno), aunque utilizaba instrumentos aparentemente sencillos

(vasija con agua, lámpara, mesa, papel y botella) él se aseguraba que antes de empezar el experimento era necesario mencionar los métodos para hacerlos funcionar.

- Para Lavoisier el perfeccionamiento de los aparatos que utilizaba era sin duda una oportunidad para hacer replicas que le ayudaron a recolectar mayor información que a la postre favorecía la formulación de sus interpretaciones, en otras palabras, la manipulación efectuada por estos científicos reflejaba el conocimiento que ellos tenían sobre estos.

La reflexión, creatividad y el ímpetu por conocer lo que permitía el funcionamiento y sobre todo la identificación y caracterización de los componentes de la combustión, favorecieron la toma de decisiones conducentes hacia el estudio y realización de experimentos como la calcinación de los metales en los cuales no se producía llama pero sí ocurrían procesos de transformación al efectuarse en el mismo medio – aire – en el que ocurrían los otros. Recordemos que un médico y químico como Georg Ernest Stahl (1659 – 1743) expresaba contundentemente que utilizar metales en lugar de los materiales tradicionales (vela, carbón, azufre, fosforo) era más productivo porque después de quemarse podían recuperarse y reutilizarse (Metzger, 1974).

Para ejemplificar el **PM** correspondiente al estudio de la composición de la calcinación de los metales iniciemos con un experimento de Stahl (1766, citado por Metzger, 1974, p. 169):

Quando se quiere fundir estaño a través de la aplicación del fuego del carbón hasta el punto donde el metal fundido enciende un pedazo de papel, se forma pronto una película en la superficie, y, cuando es ágil, a más tardar se forma algo nuevo, una mezcla que se ira antes, se parecerá más a una ceniza...²⁶

La interpretación desde un punto de vista químico, que realizó Stahl de este experimento, estuvo relacionado con su perspectiva sobre el flogisto, el cual es el eslabón fundamental que integra su **MF**. Presentare ahora un panorama mediante el cual logró postular dicho término, para ello tendré en cuenta los resultados que se presentan en el estudio de Cabrera (2010).

Él se distanció de aquella idea que incluía a la química en una atmósfera misteriosa y teológica, disipó poco a poco los comentarios sobre el Génesis y su relación con la química; como ya se mencionó, le dio más importancia al estudio de lo inorgánico que de lo orgánico. El razonamiento sobre la finalidad de la química le permitió acomodar, extender y ordenar lo que había adquirido de sus antecesores Johann Rudolph Glauber (1604 – 1670), Johann Kunckel (1630 – 1703) y Johann Joachim Becher (1635 – 1682) sobre la teoría de las afinidades, la teoría de las sales y los principios.

²⁶ “On n’a qu’à aller chez un fondeur d’étain lorsqu’il fait fondre de l’étain á un grand feu e charbon au point que ce métal fondu allume un morceau de papier; il se forme bientôt une pellicule á sa surface, et, lorsqu’on l’enlève, il ne tarde point á s’en former une nouvelle qui, á mesure qu’on ira en avant, ressemblera plus á de la poussière ou á de la cendre...”

El estudio de la mixtión²⁷ le permitió a Stahl sustentar que los agentes mecánicos fundamentales para que ellos existan eran: el *fuego* porque ponía en movimiento la tierra flogística; el *aire* porque arrastraba las partes más volátiles de los cuerpos y el *agua* (como disolvente) porque ponía en movimiento las partes de la disolución.

En lo que respecta a los aportes que retomó de Becher, se puede indicar que reconoció dos principios para todos los mixtos que eran el agua y la tierra, y a esta última la diferenció en tres:

1. La tierra vitrificable que remite a la solidez con peso de los minerales.
2. La tierra grasa o flogística que es ligera e inflamable.
3. La tierra mercurial o metálica que proporciona a los metales su maleabilidad y su brillo.

De las anteriores consideraba muy importante la tierra grasa o tierra pingüe y para entenderla mejor se dedicó a observar lo que ocurría en los metales; de esta manera, sus estudios lo llevaron a preocuparse y relacionar la combustión y la calcinación. El nombre que le dio a este principio inflamable fue Flogisto (quien lo retomó del griego Phlegain: quemar o phlox: llama), además, sus interpretaciones lo llevaron a manifestar que era el componente esencial de todos los cuerpos combustibles que al quemarse lo liberaban. Los metales estarían compuestos de flogisto y cal como lo demostraba la calcinación de ellos, pues al calentarlos emitían luz, correspondiente al flogisto que se escapaba, y quedaba la cal.

Estas ideas reflejan el **MF** de Stahl ya que por medio del flogisto él lograba interpretar las propiedades de los metales, la respiración, la calcinación, la corrosión, la combustibilidad y la fusibilidad; además, si había disminución en el peso de una materia combustible se explicaba por la pérdida de flogisto, pero si había aumento de peso entonces se le atribuía al flogisto peso negativo.

Volviendo al **PM** citado de Stahl, se puede identificar que esta experiencia le permitió observar la formación de una película en la superficie parecida a la ceniza, cuando se empieza a perfeccionar el funcionamiento de los instrumentos, las observaciones que se elaboran permiten incluir más elementos y evidencias que no eran tenidas en cuenta, por ejemplo, Priestley (1775, p. 133) también realiza una práctica similar a la de Stahl, sin embargo su descripción incluye nueva información:

Suspendí piezas de plomo y estaño en cantidades dadas de aire, de la misma manera que antes había tratado el carbón; y lanzando el foco de un espejo o lente sobre ellos, con el fin de hacerlos humos copiosamente. Percibí una disminución del aire. En el primer intento que hice, reduje de cuatro onzas de aire a tres, que es la mayor disminución de aire común que nunca antes había observado, y que me representan, supongamos que, en otros casos, no había

²⁷ La mixtión o unión mixtiva hacía referencia a la diversidad cualitativa de lo que sólo puede analizarse cuando se cambian las propiedades (Cabrera, 2010a, p. 67)

solamente una causa de la disminución, sino también causas de adición, ya sea de aire fijo o inflamable, o algún otro material de elasticidad permanente, pero que el efecto de la calcinación de los metales es simplemente el escape de flogisto, la causa de la disminución incontrolada²⁸.

Al comparar los dos **PM** de estos científicos se identifica que ambos acuden a la aplicación del calor, uno utiliza el fuego del carbón y el otro la proyección de la luz a través del espejo, esto significa que debe existir un activador que promueva la reacción. Ahora bien, a diferencia de las observaciones de Stahl, el **PM** de Priestley incluye una evidencia importante que consiste en acudir a la medición para calcular la reducción del aire, este paso o acción dentro de su procedimiento es fundamental porque permite encontrar una inconsistencia entre la fase inicial y la fase final del experimento, pero que no había sido tenido en cuenta por los científicos anteriores porque los instrumentos que utilizaban no les permitían lograr esta caracterización.

Otro científico que es importante referenciar porque también estuvo interesado en el estudio de la composición de la calcinación de los metales fue Lavoisier (1774, p. 69), en su caso, los instrumentos los ilustra como aparecen en la Imagen 5 e Imagen 6, el **PM** lo presentó así:

Tomé una retorta de unas 250 pulgadas cúbicas de capacidad: puse en ella 8 onzas (244,753 gramos) de estaño en barritas, y estiré con la lámpara la punta del cuello hasta un tubo capilar, en la misma forma en que lo hice anteriormente...Luego hice fundir suavemente el estaño sobre fuego de carbón y cerré como antes la abertura capilar con un soplete...Comencé a las 6 y 15; a las 6 y 45 empezó a fundirse el estaño. La fusión no fue completa hasta las 7 y 15: hasta entonces el calor no había sido, quizás, suficientemente fuerte, y el estaño parecía conservar la consistencia de una amalgama. Después de las 7 y 15, la superficie empezó a empañarse y a ondularse, y en ese momento, cuando la fusión era perfecta, comenzó a formarse una cantidad considerable de polvo negro que, al principio, flotaba en copos, pero que en seguida, al hacerse más pesado específicamente, caía al fondo y tomaba un color negro más acentuado. A las 7 y 45, la superficie del estaño estaba casi completamente limpia, aunque un poco empañada, como el mercurio cuando se respira sobre él. A partir de este momento, la calcinación no progresó más; cuidé de descubrir muchas veces el polvo negro, inclinando la retorta, para que se pusiera en contacto con el aire y se calcinara completamente, y aumenté mucho el calor al final de la operación. Por fin, viendo que no se producía ningún cambio, interrumpí la calcinación a las 8 y 45.

²⁸ Fragmento original: I suspended pieces of lead and tin in given quantities of air, in the same manner as I had before treated the charcoal; and throwing the focus of a burning mirror or lens upon them, so as to make them fume copiously. I presently perceived a diminution of the air. In the first trial that I made, I reduced four ounce measures of air to three, which is the greatest diminution of common air that I had ever observed before, and which I account for, by supposing that, in other cases, there was not only a cause of diminution, but causes of addition also, either of fixed or inflammable air, or some other permanently elastic matter, but that the effect of the calcination of metals being simply the escape of phlogiston, the cause of diminution was alone and uncontroled.

Imagen 5. a. Retorta representada por Lavoisier (1774, p. 61). b. Retorta actual. Fuente: Tomada de <http://chemistry.about.com>

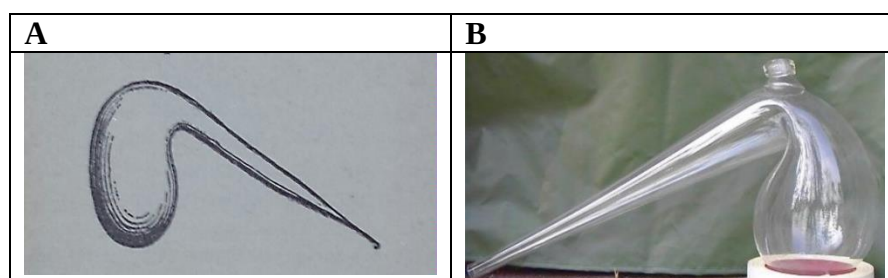
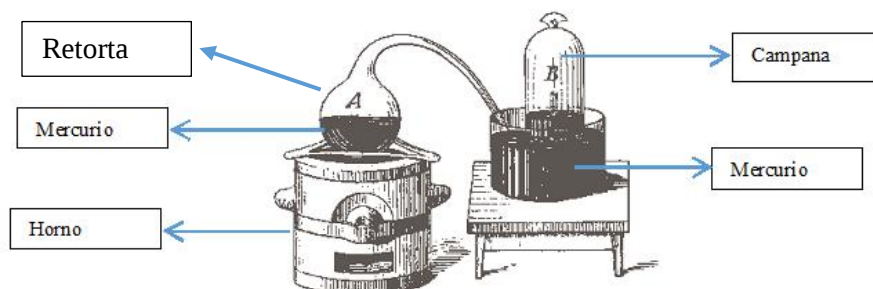


Imagen 6. Montaje usado por Lavoisier para calentar mercurio. Fuente: Tomado de Cabrera & Quintanilla (2014)



Los dos términos químicos que se pueden destacar del fragmento de Lavoisier corresponde a los procesos de fundir y fusión, la incorporación de estos en sus diferentes documentos significa que el conocimiento químico que se había elaborado por los aportes de los otros científicos tanto anteriores como contemporáneos, permitían conceptualizar la transformación de la materia desde diversos modelos en los cuales la fundición, la fusión, la evaporación, la condensación, hacían parte de las rutinas metódicas que habían logrado consolidar y validar en los colectivos de investigadores a los que pertenecían.

La interpretación de este **PM** por parte de Lavoisier consistía en visualizar que en el aire existía una parte que se combinaba con los metales durante la calcinación y que era esta la que causaba el aumento de peso de las cales, además el uso de la retorta le permitió controlar que nada del exterior se combinaba con los metales, por lo tanto, era necesario buscar la causa en el interior del instrumento; sus observaciones y datos lo llevaron a decir que:

...el aumento de peso del metal es casi exactamente igual al peso de la cantidad de aire absorbido; lo que prueba que la porción de aire que se combina con el metal durante la calcinación es de un peso específico casi igual al del aire de la atmósfera...esta circunstancia me lleva a suponer que el aire de la atmósfera no es en modo alguno un ser simple, sino que está compuesto de sustancias muy diferentes; y el trabajo que he emprendido sobre la calcinación y la revivificación de las cales de mercurio me ha confirmado singularmente esta opinión... (Lavoisier, 1775, p. 70)

La cita anterior, es contundente para justificar que la ley de la conservación de la masa aunque no elaborada de manera explícita, la información que se suministraba era un insumo para tener en cuenta por los siguientes investigadores que se dieron a la tarea de redactar los libros que fueron objeto de estudio por aquellos sujetos que querían aprender química. Este fragmento correspondiente al **PM** continúa con la tendencia de incluir mediciones y valores numéricos que ratifican la diferencia entre lo que existe al inicio y lo que se obtiene al final de la calcinación, además, hacen explícito el tiempo que requirió para obtener resultados. Aquí y al igual que el **PM** de Stahl, también se identifica un polvo negro en la superficie pero le incluye una observación extra y es que por el peso tiende a caer al fondo.

En lo que respecta al **MI**, los tres experimentos acuden a los mismos metales para calcinarlos, es decir, el estaño y el plomo y como lo hizo en algún momento Mayow, con antimonio, sin embargo, los instrumentos únicamente fue Lavoisier quien realizó una descripción de ellos, es más, en la Imagen J podemos observar que el sistema experimental incluye varios aparatos que cumplen una función específica, por ejemplo, mediante el horno suministra el calor necesario para que el mercurio se calcine en la retorta A y que a su vez, los gases emitidos sean llevados a la campana B. Aunque en las descripciones de Stahl y Priestley no hagan referencia a instrumentos, el hecho de calcinar plomo y estaño, también significa que ellos conocían el tipo de reacciones que estos metales efectuarían al aplicarles calor.

Los productos obtenidos después de la calcinación de los metales (polvo negro, cal, cenizas) generaron dos aspectos importantes, el primer aspecto, consistió en el desarrollo de experimentos sobre la reducción de las sales; y el segundo aspecto, debido a que estos eran pesados en una balanza identificaron que había un aumento de peso, razón por la cual emergió la pregunta ¿qué causa el aumento de peso de los metales?

Respecto al primer aspecto entran en escena nuevamente los científicos con sus respectivos procesos, por ejemplo, Stahl (1766, citado por Metzger, 1974, p. 169) narraba un **PM** sobre la reducción así:

... si metemos poco o mucho de esta ceniza en un crisol y lo exponemos al fuego violento sin hacer caer el carbón, el no sufrirá ninguna alteración; y si juntamos vidrio fundido, él se quedara siempre como una ceniza..., si, cuando esta ceniza está cubriendo la superficie del estaño fundido, juntamos, supongamos aceite, pez, una resina sacada de los vegetales, sebo, otra grasa sacada de los animales, lo movemos con un palito, esta ceniza se fundirá de nuevo, y se reunirá con el estaño restante...²⁹.

²⁹ « ...Si l'on met peu ou beaucoup de cette cendre dans un creuset et qu'on l'expose même au feu le plus violent sans y faire tomber aucun charbon, elle n'en souffrira aucune altération ; et si l'on y joint du verre comme fondant, elle restera toujours dans l'état d'une cendre..., si, lorsque cette cendre est encore de la poix, soit une résine tirée des animaux, qu'on remue le tout avec un bâton, cette cendre fondra de nouveau, et se réunira au reste de l'étain... »

Por su parte Scheele (1780, p. 79), describía su caso **PM** de la siguiente manera:

a. Puse un ducado de alguna cal de mercurio, preparado por el ácido del nitro, o lo que comúnmente se llama precipitado rojo, y expuesto al foco de una quema de vidrio. El polvo comenzó a emitir humos, y el oro se convirtió en blanco...³⁰

Un **PM** similar también lo llevó a cabo Priestley (1775), sin embargo, utilizó el producto de la calcinación del hierro, del cual decía que el flogisto se había escapado y también las redujo. Después de una conversación sostenida entre Priestley y Lavoisier, este último, se percató que podía dar otro uso al precipitado rojo de mercurio y emprendió nuevamente investigaciones en las cuales acudía a la reducción de cristales rojos con presencia de carbón; uno de los productos obtenidos se disolvía en agua, provocaba la muerte de los animales, extinguía las velas, precipitaba el agua de cal y se combinaba con facilidad con los álcalis (Cabrera, 2010a). Es así como Lavoisier (1775, p. 86) interesado en el análisis de las sales obtenidas de la calcinación del mercurio, acudió al siguiente **PM**:

puse en una retorta, también de dos pulgadas cúbicas de capacidad, 1 onza (unos 30 gramos) de *mercurio precipitado per se*, sin ningún agregado; dispuse el aparato en la misma forma que para el experimento anterior y procedí de modo que todas las circunstancias fueran exactamente las mismas. Esta vez la reducción se hizo un poco más difícilmente que por la adición de carbón; requirió más calor, y no hubo efecto sensible hasta que la retorta comenzó a enrojecer ligeramente; entonces el aire se desprendió y, poco a poco, pasó a la campana. Manteniendo la misma fuerza del fuego durante dos horas y media, se redujo la totalidad del mercurio.

Terminada la operación, se encontró que, por una parte, tanto en el cuello de la retorta como en el vaso de vidrio que había colocado debajo del pico y dentro del agua había 7 adarmes, 18 granos (27.66 gramos) de mercurio líquido; y por otra parte, la cantidad de aire que pasó a la campana era de 78 pulgadas cúbicas (1.540 mililitros); de lo que resulta que, suponiendo que todo el peso perdido debe atribuirse al aire, cada pie cúbico debía pesar un poco menos de 2/3 de grano, lo que no se aleja del peso del aire común.

Con este **PM** Lavoisier identificó que la reducción de la cal de mercurio, producía mercurio al mismo tiempo que se desprendía un “fluido elástico” o gas, además, reconoció que este gas era el mismo que el “aire desflogisticado” estudiado por Priestley y que su volumen, cuando se ajustaba a la temperatura y presión correcta, era el mismo que el consumido por el mercurio al convertirse en óxido durante el calentamiento inicial. El aire que quedaba en la campana de cristal, después de retirar este nuevo gas, era irrespirable. Lavoisier manifestó, por lo tanto, que el aire atmosférico estaba formado por dos fluidos elásticos: aire respirable y aire mefítico (Cabrera, 2010a).

³⁰ Fragmento original: a. I put on a ducat some calx of mercury, prepared by acid of nitre, or what is commonly called red precipitate, and exposed it to the focus of a burning-glass. The powder began to emit fumes, and the gold became white...

Tanto este **PM** como los otros que se han incluido y el que falta por citar, fueron interpretados por Lavoisier desde su **MF**³¹. A partir de una serie de indagaciones, incertidumbres, inconformidades e inconsistencias relacionadas con las ideas que sustentaban el modelo del flogisto, Lavoisier (1777) presentó ante la *Académie des Sciences* la memoria *Sobre la combustión en general* donde proponía un nuevo modelo para comprender la combustión:

...me atrevo a proponer hoy a la Academia una nueva teoría de la combustión: o mejor, para hablar con la reserva que me he impuesto como ley, una hipótesis con cuya ayuda se explican de una manera muy satisfactoria todos los fenómenos de la combustión, de la calcinación y aun, en parte, los que acompañan la respiración de los animales. He puesto los primeros fundamentos de esta hipótesis en las páginas 279 y 280 de mis Opúsculos Físicos y Químicos; pero confieso que, confiando poco en mis propias luces, no osé entonces lanzar una opinión que hubiera parecido singular, y que era directamente contraria a la teoría de Stahl, y a la de muchos hombres célebres que lo han seguido. Una parte de las razones que me detuvieron subsisten aún hoy, los hechos que me parecen favorables a mis ideas se han multiplicado tanto desde entonces, que me han afirmado en mi opinión. Sin ser quizá más fuerte, tengo mayor confianza, y creo tener suficientes pruebas, o al menos probabilidades, para que ni aun los que no sean de mi opinión puedan reprocharme el haber escrito.

En la combustión de los cuerpos se observan en general cuatro fenómenos constantes que parecen obedecer a leyes de las que la naturaleza no se aparta jamás; aunque estos fenómenos se encuentran implícitamente enunciados en otras memorias, no debo dejar de recordarlos aquí en pocas palabras.

Primer fenómeno:

En toda combustión se desprende la materia del fuego o de la luz.

Segundo fenómeno:

Los cuerpos no pueden quemarse sino en un número pequeño de especies de aire, o mejor, no puede haber combustión sino en una sola especie de aire, aquella a la que Priestley ha denominado aire desflogisticado y que yo denominaré aire puro. No solamente los cuerpos a los que damos el nombre de combustibles no se queman en el vacío, ni en ninguna otra especie de aire, sino que, además, en tales medios se extinguen inmediatamente como si se los sumergiera en agua o en otro fluido cualquiera.

Tercer fenómeno:

En toda combustión hay destrucción o descomposición del aire puro en el que se hace la combustión, y el cuerpo quemado aumenta de peso exactamente en la proporción de la cantidad de aire destruido o descompuesto.

Cuarto fenómeno:

En toda combustión el cuerpo quemado se cambia en ácido, por adición de la sustancia que ha aumentado su peso. Así, por ejemplo, si se quema azufre bajo una campana, el producto

³¹ La contextualización de este elemento será tomada nuevamente del estudio de Cabrera (2010).

de la combustión es ácido vitriólico; si se quema fósforo es ácido fosfórico; si se quema una sustancia carbonosa el producto de la combustión es el aire fijo, llamado también ácido cretoso, etc.

La calcinación de los metales está sometida exactamente a estas mismas leyes, y con mucha razón el señor Macquer la ha considerado como una combustión lenta. Así: 1) en toda calcinación metálica se desprende la materia del fuego; 2) no puede haber verdadera calcinación sino en el aire puro; 3) hay combinación del aire con el cuerpo calcinado, pero con esta diferencia: en lugar de formarse un ácido, resulta una combinación particular, conocida con el nombre de *cal metálica*. (p. 110 – 112)

Los fragmentos anteriores de Stahl, Scheele y Lavoisier, interpretados desde un punto de vista químico permiten expresar que la combustión empezó a conceptualizarse como una reacción química reversible e irreversible cuando se utilizaban metales, por eso, los experimentos que realizaban los llevó inicialmente a calcinar y después a reducir los metales para identificar lo que se ganaba o se perdía, esto también fue significativo para ampliar los ejemplos en los cuales la conservación de la masa se lograba mostrar.

En el caso de la cita de Lavoisier, incorpora rotundamente el **MF** de Lavoisier el cual estaba cargado de expresiones como “aire vital”, “aire eminentemente respirable”, “aire más puro que el aire común”, todos estos nombres hacían referencia a propiedades del nuevo aire directamente relacionadas con la combustión. La clarificación de sus ideas sobre los fluidos elásticos/aires/gases, el desarrollo de la teoría del calórico y las experiencias con el calorímetro, sus nuevas concepciones sobre los ácidos y los nuevos datos sobre la composición del ácido nítrico y del agua, pusieron a Lavoisier en disposición de construir un conjunto de interpretaciones que hacían innecesario emplear el flogisto para interpretar los fenómenos químicos y fue en ese momento que propuso el término “principio acidificante o principio oxígeno” proveniente posiblemente de las ideas que siempre estuvieron en su estructura conceptual, es decir, que a partir de sus estudios con los ácidos pudo tomar el término “engendrador de ácidos u oxígeno”.

Es necesario decir que Lavoisier no descubrió nueva sustancia alguna, en cambio llegó a comprender el significado de los descubrimientos realizados por otros, su independencia frente a las ideas del pasado, el bello rigor cuantitativo de sus trabajos, la jerarquía que concedía a las relaciones ponderables en la descripción de las transformaciones, su actitud de no admitir nada como cierto antes de someterlo a una prueba experimental, fueron las características que lo designaron como protagonista de la revolución química.

En cuanto al **MI**, el conocimiento sobre las condiciones, el tiempo y las propiedades de los elementos o sustancias que utilizaban les permitía acudir a materiales como la cal de mercurio o precipitado rojo, cal de hierro y plomo, y en los instrumentos incluían pieza de porcelana, retorta, campana, horno de reverbero y lámpara de esmaltador, la mayoría de ellos usados por Lavoisier.

El segundo aspecto relacionado con la pregunta ¿Qué causa el aumento de peso de los metales? Surge debido a que las interpretaciones que se daban acerca de la información que recolectaban por medio del uso de un instrumento como la balanza, no eran convincentes, ya que continuamente ajustaban las ideas para que la inconsistencia pudiera resolverse, este tipo de acciones argumentativas es lo que Kuhn (1962, 2004, 2007) denomina ajustar la teoría para que la anomalía o problema sea resuelto y si esto no funciona lo ideal es omitirlo para no explicarlo.

Para un científico como Lavoisier, que tenía todas las condiciones, recursos y acceso a la información para realizar investigaciones se volvió una obsesión ya que continuamente entraba en conflicto con aquellos que elaboraban otras interpretaciones. Esta obsesión se transformó en una inquebrantable búsqueda de la causa del aumento de peso en el interior de la retorta. Su búsqueda lo llevo a revisar el *Tratado del peso de la llama y del fuego* escrito por Boyle, en donde también se hacía referencia al aumento de peso en los metales calcinados. Una de sus tantas reflexiones Lavoisier (1774, p. 59) dijo:

...si el aumento de peso de los metales calcinados en vasos cerrados se deben, como pensaba Boyle, a la adición de la materia de la llama y del fuego que penetra a través de los poros del vidrio y se combina con el metal; entonces, si después de haber introducido una cantidad conocida de metal en un vaso de vidrio cerrado herméticamente, se determina exactamente el peso, y luego se procede a la calcinación por el fuego de carbón, como lo hizo Boyle; si, finalmente, se vuelve a pesar el vaso después de la calcinación y antes a pesar el vaso después de la calcinación y antes de abrirlo, debe encontrarse aumentado el peso en toda la cantidad de materia del fuego que se ha introducido durante la calcinación.

Si, por el contrario, pensaba, el aumento de peso de la cal metálica no es debido a la combinación con la materia del fuego ni con otra materia exterior, sino a la fijación de una parte del aire contenido en la capacidad del vaso, éste no deberá ser más pesado después que antes de la calcinación; estará en parte vacío de aire, y sólo en el momento en que vuelva a entrar la porción del aire que falta, aparecerá el aumento de peso del vaso...

Por ello en uno de sus tantos **PM** decidió retomar todo lo que hizo Boyle y hacer una serie de ajustes, de tal manera, que tenía en cuenta tanto condiciones del experimento anterior como las que él proponía. Lo que realizó le permitió sustentar que el aumento de peso no era a causa ni de la retorta ni de la llama emitida por el carbón sino que era causado por algo que había contenido en el aire del interior de la retorta, es decir, el principio acidificante o principio oxígeno.

La sumatoria y el esfuerzo experimental y teórico, le permitieron a los colectivos formular novedades en el pensamiento, la forma de proceder e interpretar las experiencias que se realizaban al interior de la comunidad científica. Uno de esos esfuerzos fue la publicación del *Traité élémentaire de chimie*, en 1789, el cual se puede considerar como un libro de texto dirigido a la reforma de la enseñanza de la química que presentaba un método de organización de los contenidos de la química basado en la progresión “de lo simple a lo complejo”. Otro destacable acontecimiento vinculado a la reforma del lenguaje de la química fue la

publicación del *Méthode de nomenclature chimique* en donde Lavoisier y sus colaboradores formulan la nomenclatura química (Cabrera, 2010b).

6.2. Análisis de los episodios históricos

Las ideas que a continuación se sustentan corresponden a una profundización implícita del punto de vista químico que se presentó en los resultados anteriores, con esto se pretende establecer algunos parámetros que posteriormente fueron tenidos en cuenta en la construcción del cuestionario que se aplicó a los *PFICN*. Se tomó esta decisión porque la mayoría de los fragmentos incluidos se interconectaban y relacionaban en diversos aspectos que a continuación se ampliarán.

Al interior de los grupos de investigación, existe un estilo de pensamiento delimitado y demarcado que orientaba todas y cada una de las operaciones teórico experimentales que realizaban los integrantes del colectivo. Se tiene entonces que los científicos cuando hacían sus indagaciones, esgrimían todo el conglomerado de conocimiento que habían adquirido durante su formación personal, académica e investigativa y sobre todo a través de la interacción constante que se efectuaba por medio de la socialización de los modelos y experimentos que lograban producir.

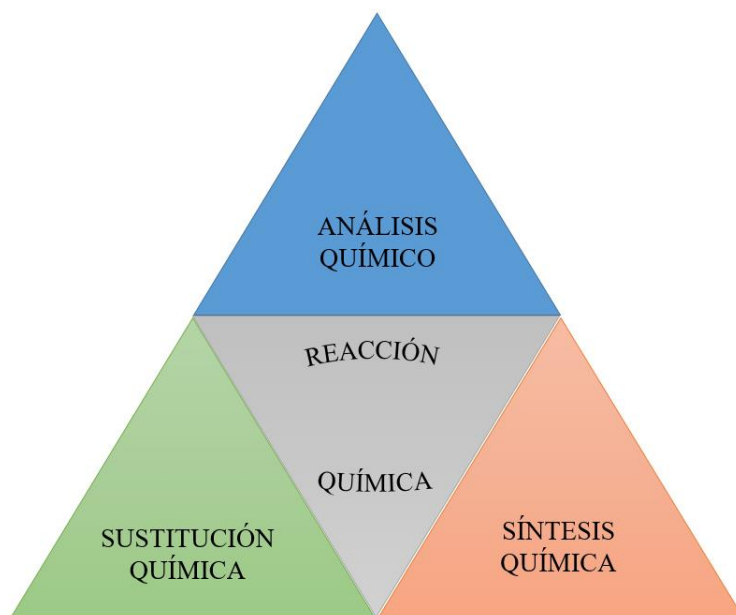
Al retomar los episodios históricos que se acaban de describir, se puede identificar que el proceso teórico experimental involucró algunos científicos, que por ocio o formación, estuvieron vinculados investigativamente en la exploración del fenómeno de la combustión. Esta exploración implicó un direccionamiento hacia la identificación de aquellas regularidades que lo integraban. La búsqueda de esas regularidades estuvo acompañada del desarrollo de un número incalculable de experimentos, que no sólo sirvieron para caracterizar la combustión como una acción mecánica, donde lo principal era la producción de llama y su continuo uso como fuente de calor para realizar procesos de separación, sino que también, permitieron la interpretación y explicación de los gases, la composición del agua, la indagación sobre la composición de los ácidos, y el establecimiento de relaciones entre procesos como la respiración, la reducción, la calcinación y la combustión (Cabrera, 2012b).

De acuerdo a lo anterior, en los párrafos que siguen, se incluye un ejercicio analítico, que tomó como base las conexiones científico experimentales asociadas a la combustión, fue fuente de información para extraer algunos aportes del estudio histórico filosófico. Destaquemos que las investigaciones experimentales que realizaron todos los científicos estudiados, confluían en el estudio de la combustión, es decir, existían algunos puntos de encuentro en los cuales convergían, pero que cada uno presentaba de manera distinta o que potenciaba de acuerdo a las circunstancias y contextos a los que pertenecía.

Para las historiadoras Bensaude-Vincent & Stengers (1997) la química atravesó por tres programas de investigación (ver Figura 7), el *análisis químico* (los esfuerzos se encaminaban

hacia la descomposición, identificación y clasificación de los materiales orgánicos e inorgánicos que se estudiaban), la *sustitución química* (se denomina de esta manera el hecho de reemplazar elementos dentro de los compuestos orgánicos y es tanto su potencial que da origen a la química orgánica) y la *síntesis química* (que podría catalogarse como la fabricación y producción de nuevas moléculas, nuevas sustancias y nuevos materiales ya sea partiendo de elementos (hidrogeno, carbono, nitrógeno) o partiendo de otros compuestos más simples), en este sentido, el eje sobre el cual versaba todo el interés investigativo de estos programas de investigación eran las *reacciones químicas*, las que en la actualidad son consideradas como uno de los principales conceptos que estructuran el “esqueleto” tanto de la química como de su enseñanza (Atkins, 1999, 2005, 2013; Cabrera & García-Arteaga, 2014; Gillespie, 1997; Hill, 2010).

Figura 7. El análisis, la sustitución y la síntesis como tres programas de investigación de la química

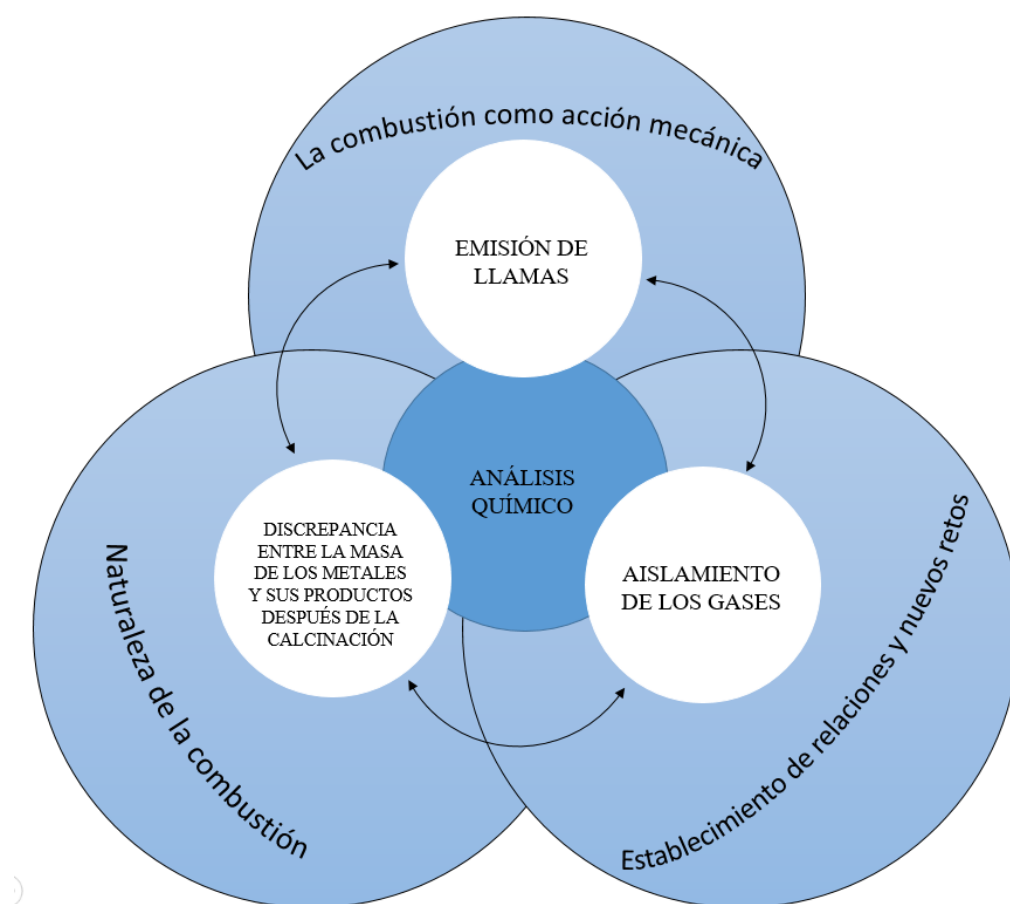


En la Figura 8 se puede visualizar que el panorama de los tres episodios históricos extraídos del estudio histórico de la experimentación asociada a la combustión, al incluir actividades reiterativas de descomponer, nombrar y clasificar metales y gases e identificar los componentes del agua, dejó entrever la sincronía de estos con uno de los programas de investigación por el que atravesó la química: el *análisis químico*.

Uno de los primeros puntos de interacción entre estos episodios, estuvo relacionado con el propósito de las investigaciones cuando pretendían determinar lo que ocurría y se producía en las reacciones químicas de los compuestos orgánicos e inorgánicos cuando eran sometidos a procesos experimentales de combustión, calcinación y reducción. Esta conexión significó

un esfuerzo teórico experimental de los diferentes colectivos por elaborar interpretaciones de los *hechos científicos* que identificaban, promoviendo así el desarrollo y la fundamentación del *conocimiento químico*. Dos preguntas surgen en este momento: ¿Cuáles fueron esos *hechos científicos*? ¿Qué caracterizaba el conocimiento químico que estaba emergiendo?

Figura 8. Tres episodios históricos asociados a la combustión sincronizados con el análisis químico



En cuanto a la primera pregunta, se puede decir que el estudio experimental de la combustión por parte de los diferentes integrantes de los colectivos trajo consigo la identificación y caracterización de algunas “manifestaciones observacionales” obtenidas a partir de los experimentos que realizaban, que con el tiempo empezaron a ser referenciadas a través de sus publicaciones. La reiteración continua de estas manifestaciones significó para los colectivos la construcción y consolidación de un *hecho científico*. Debemos entenderlos a estos como un elemento del conocimiento, que no están dados o preestablecidos, sino que se producen, transforman y adquieren sentido al interior de un estilo de pensamiento de un determinado colectivo humano, el cual lo destaca, valida, sustenta y somete a consideración

tanto de otros colectivos como de la opinión pública. Al respecto Fleck (1986, pp. 147–148) dice:

1. Todo hecho tiene que situarse en línea con los intereses intelectuales de su colectivo de pensamiento.
2. Tiene que tener eficacia como tal dentro del colectivo de pensamiento y debe hacerse presente a cada componente como coerción de pensamiento y también como forma directamente experienciable.
3. El hecho tiene que ser expresado en el estilo del colectivo de pensamiento.

Al observar la Figura 8 y teniendo en cuenta lo que se acaba de mencionar, se identifica que la indagación alrededor de la experimentación asociada a la combustión aunque puede dar lugar a diversos hechos, en lo que corresponde a esta tesis, únicamente se hará referencia a tres *hechos científicos* que llamaron la atención y despertó el interés de los científicos por profundizar en su comprensión e interpretación, estos fueron:

1. *Emisión de llamas*: los problemas referentes a la naturaleza de la combustión sirvieron para aunar esfuerzos teórico experimentales mediante los cuales los químicos se alejaron o distanciaron de la perspectiva alquímica, por el contrario, la nueva forma de ver este fenómeno sirvió como paso fundamental para iniciar la observación y análisis referentes al porqué de los cuerpos combustibles se escapaban llamas, algo se perdía y al final se obtenían cenizas cuando se consumían sustancias orgánicas.
2. *Aislamiento de gases*: la idea precursora de este hecho fue que el aire era necesario para realizar la combustión, en este sentido, las acciones experimentales les sirvieron a científicos como Boyle, Hooke y Mayow para referirse a estos a través del término “aire”, mientras que para científicos como Scheele, Cavendish, Priestley y Lavoisier lo acompañaban de otro término que lo caracterizará, por ejemplo, “aire incendiario”, “aire inflamable”, “aire común”, “aire nitroso”, “aire desflogisticado”, “aire eminentemente respirable”. También se puede hacer referencia a que la mayoría de estos eran obtenidos cuando los ácidos entraban en contacto con los metales y los cuales eran sometidos a la combustión para observar coloración, intensidad y duración de la llama.
3. *Discrepancia entre la masa de los metales y sus productos después de la calcinación*: en el periodo comprendido entre los experimentos realizados por Boyle, pasando por Stahl y llegando hasta Lavoisier, siempre se realizaron anotaciones que hacían referencia a la diferencia de peso entre los reactivos que iniciaban la reacción y los productos que se obtenían en la misma, lógicamente la diferencia estaba en las interpretaciones que se realizaban para comprenderlo, por ejemplo, tanto Boyle como Hermann Boherhaave (1668 – 1783) decían que esto debía a las partículas de fuego que penetraban los recipientes y que se adherían a los metales. En el caso de Stahl esto carecía de importancia y para los seguidores de sus ideas aseguraban que era el

flogisto que tenía la particularidad de adquirir un peso positivo o negativo dependiendo de las circunstancias; mientras que Lavoisier manifestaba que era algo que existía en el aire atmosférico que se fijaba a los metales y ocasionaba esta diferencia.

La interpretación que se realizó sobre cada uno de estos *hechos*, significó una contundente contribución hacia la producción de conocimiento químico, como es de esperarse y es lógico, las definiciones no corresponden a las que en la actualidad son utilizadas en las clases de química, además, no es de nuestro interés indagarlas. Esta situación permite avanzar hacia la formulación de la segunda pregunta ¿Qué caracterizaba el conocimiento químico que estaba emergiendo? Las actividades humanas que se realizaban al interior de los colectivos buscaban una comprensión de la materia y sobre todo pretendían darle una utilidad para el contexto y época en la que se desarrollaba. Dependiendo de los intereses y propósitos investigativos, pueden existir y dar prioridad a una variedad incalculable de ideas, sin embargo, en lo que corresponde a esta tesis y delimitado particularmente por la revisión y análisis de los experimentos incluidos en los *TCH*, la idea que se pretende sustentar corresponde a la ***composición de las sustancias químicas***.

El *AHC* sobre la experimentación asociada a la *combustión* permitió determinar que uno de los intereses estuvo supeditado específicamente a las sustancias orgánicas y específicamente a aquellas que emitían o favorecían la producción de llama (carbón, madera, cera), sin embargo, debido a que social y económicamente el entorno europeo entre mediados del siglo XVII y mediados del siglo XVIII estaba predispuesto a las investigaciones metalúrgicas, los intereses de los científicos se direccionaron hacia el estudio de los *metales* sobre todo porque estaban interesados por conocer qué reacciones se producían cuando estos eran sometidos a la llama. Esta situación favoreció que las investigaciones experimentales en química incluyeran procesos de *calcinación*, a su vez, con los productos que se obtenían - *óxidos* llamados cales – procuraban someterlos nuevamente a la influencia del *calor* para identificar que se adquiría, es decir, acudían a la *reducción* de los óxidos para obtener de nuevo los metales. Entre estos procesos existía una singularidad y consistía en que se realizaban en presencia de aire, debido a esto y reconociendo que en la *respiración* también el aire era necesario y vital, los científicos determinaron visualizar que todos estos eran un tipo de combustión lenta, en la cual no se emitía llama pero sí se producían reacciones con el “algo” que existía en el aire.

La transición entre los tres episodios históricos por los cuales atravesó la combustión, significó el uso del término *elemento*³² por parte de Boyle y Lavoisier, aunque dista del que en la actualidad aparece en los libros de texto o el que los profesores enseñan en las clases de química. En el caso de Boyle se distanció de las ideas aristotélicas de los cuatro elementos,

³² Este término tiene su propia historia y para ello se invita a revisar la tesis doctoral de la profesora Linares (2004) ya que hace un trabajo exhaustivo y centrado específicamente en él.

que en su época eran el referente para todas las interpretaciones que se realizaban, por ello en su libro *El Químico Escéptico* dice que:

Y, para prevenir errores, debo advertirles, que ahora llamo Elementos, como estos Químicos que denominan llanamente por sus Principios, a ciertos cuerpos Primitivos y Simples perfectamente puros y sin mezcla; que no están formados por ningún otro cuerpo, o de ningún otro, son los Ingredientes a partir de los cuales se componen todos estos llamados Cuerpos mixtos perfectos, y en los que estos finalmente se descomponen³³ (Boyle, 2013, p. 120)

En esta cita se puede destacar que debido a su *MF* corpusculista, Boyle caracterizó a los elementos como primitivos y simples que no están mezclados y eran puros pero que si son los ingredientes de las *mezclas* o mixtos como los denominaban en esa época. Como hemos destacado hasta el momento y según se identificó en los *TCH* de Lavoisier, Boyle fue un referente importante para sus experimentos y sobre todo para la formulación de algunas ideas, entre ellas lo que él denominó sustancia simple. Al respecto Lavoisier, expresa que:

...la química camina hacia su objeto y su perfección dividiendo, subdividiendo y volviendo a dividir, e ignoramos cuál será el límite de sus logros. Así, no podemos asegurar que lo que consideramos hoy como simple lo sea realmente; lo más que podemos decir es tal sustancia es el término actual a donde llega el análisis químico, y que no puede subdividirse más allá, según el estado actual de nuestros conocimientos... (Lavoisier, 1798, p. 171)

Las perspectivas de Boyle y Lavoisier estuvieron conectadas en la medida que interpretaron los elementos como algo simple y que hasta su época era el límite hasta donde se podía conocer, pero que no se sabía qué podría pasar con los próximos logros en el campo de la química. Otra conexión que está en sincronía con lo que se ha sustentado hasta el momento es que para ambos el camino que la química estaba atravesando era la del análisis químico, por ello acudían a la descomposición de la materia a través de diferentes técnicas y procedimientos con el propósito de interpretar y averiguar de qué estaban compuestas.

Como se sustentó anteriormente, del trabajo experimental asociado a la combustión se obtuvieron como resultado diversos hechos científicos, aunque desde el análisis histórico, los tres que se destacaron y que ya se sustentaron fueron: *Emisión de llamas*, *Aislamiento de los gases* y la *Discrepancia entre la masa de los metales y sus productos*. Como se mencionó previamente, estos recibían la influencia del *calor* proporcionado por la llama. En otras palabras, el calor servía para los procesos de desintegración a los que sometían las diferentes sustancias químicas que utilizaban en sus experimentos. En la Imagen 7 podemos observar que Lavoisier asumió la luz como calor e incluyó el calórico como fuego, es más, lo incluyó dentro de su listado de sustancias simples, sin embargo, esto ha suscitado diversos cuestionamientos como lo deja entrever Chang (2009) al expresar que el calórico era un

³³ Fragmento original: “And to prevent mistakes, I must advertize You, that I now mean by Elements, as those Chymists that speak plainest do by their Principles, certain Primitive and Simple, or perfectly unmingled bodies, which not being made of any other bodies, or of one another, are the Ingredients of which all those call’d perfectly mixt Bodies are immediately compounded and into which they are ultimately resolved”

elemento esencial en su cosmología ya que a través de este explicaba los tres estados de la materia. Es decir, para Lavoisier el calórico era considerado nuclear en su sistema químico, sin embargo, al revisar la utilidad que le daba, da la impresión que tenía un comportamiento similar al flogisto. Esto suscita un análisis más detallado pero por ahora no se incluirá porque no es el objeto de esta tesis y se deja enunciado para que se continúe indagando.

Imagen 7. Tabla de las sustancias simples de Lavoisier. Fuente: tomada de (Lavoisier, 1798, pp. 168–169)

	Nombres nuevos	Nombres antiguos correspondientes
	Luz	Luz . Calor. Principio del calor. Fluido ígneo.
Sustancias simples que pertenecen a los tres reinos y que se pueden considerar como los elementos de los cuerpos.	Calórico	Fuego. Materia del fuego y del calor. Aire deflogisticado. Aire empyreal. Aire vital. Base del aire vital. Gas flogisticado.
	Azoe	Mofeta. Base de la mofeta. Gas inflamable.
	Hidrógeno	Base del gas inflamable.
Sustancias simples no metálicas, oxidables y acidificables.	Azufre	Azufre.
	Fósforo	Fósforo.
	Carbono	Carbón puro.
	Radical muriático.	Desconocido.
	Radical fluórico ..	Desconocido.
	Radical borácico ..	Desconocido.
	Antimonio	Antimonio.
	Arsénico	Arsénico.
	Bismuto	Bismuto.
	Cobalto	Cobalto.
	Cobre	Cobre.
Sustancias simples metálicas, oxidables y acidificables.	Estaño	Estaño.
	Hierro	Hierro.
	Manganeso	Manganesa.
	Mercurio	Mercurio.
	Molibdeno	Molibdena.
	Níquel	Níquel.
	Oro	Oro.
	Plata	Plata.
	Platino	Platina.
	Plomo	Plomo.
	Tungsteno	Tungstena.
	Zinc	Zinc.

	Nombres nuevos	Nombres antiguos correspondientes
Sustancias simples salificables, terrosas.	Cal	Tierra caliza, cal.
	Magnesia	Magnesia, base de la sal de Epsom.
	Barita	Baroto, tierra pesada.
	Alúmina	Arcilla, tierra de alumbre, base del alumbre.
	Sílice	Tierra sílicea, tierra vitrificable.

En la interpretación de los hechos científicos que se referenciaron, hicieron parte otros términos químicos como *gases*, *sales*, *bases (álcalis)*, *ácidos (espíritus ácidos)*, *aleación*, *moléculas*. Cada uno de ellos tiene su propia historia pero en lo que corresponde a esta investigación no se profundizarán ni se darán definiciones porque no es el propósito de esta tesis ni tampoco es la función del AHC. Lo que sí se puede expresar es que estos términos químicos están relacionados con lo que en la actualidad en el campo de la educación en química se denomina contenido conceptual y que se circunscriben en la información disciplinar que debe ser aprendida por los futuros profesores de ciencias naturales.

Se puede decir que una de las consecuencias inherentes en el marco de la construcción y producción de conocimiento químico fue la idea de *conservación de la materia*, la que en la actualidad aparece en los libros de texto de educación en química como una ley.

Aclaremos que Lomonosov fue uno de los que la estableció explícitamente, pero debido a que sus obras fueron ignoradas no influyeron con vehemencia (Leicester, 1967). Sin embargo, la historia y específicamente los historiadores se encargaron de valorar y catalogar a Lavoisier como el científico que eficazmente lo estableció por primera vez cuando experimentó con la *descomposición de los óxidos vegetales por la fermentación vinosa*. En este experimento el manifestó lo siguiente:

Esta operación es una de las más extraordinarias y dignas de atención de todas las que la química nos presenta, y debemos examinar de dónde viene el gas ácido carbónico que se desprende, de dónde viene el espíritu inflamable que se forma y cómo un cuerpo dulce, un óxido vegetal, se puede transformar así en dos sustancias tan distintas, una combustible y otra eminentemente incombustible. Para llegar a la solución de estos problemas, está claro que haría falta conocer primero el análisis y la naturaleza de los cuerpos susceptibles de fermentar y los productos de la fermentación; porque nada se crea, ni en las operaciones del arte, ni en las de la naturaleza, y se puede sentar como principio que, en toda operación, hay una cantidad igual de materia antes y después de la operación, que la cualidad y cantidad de los principios es la misma, y que no hay más que cambios y modificaciones (Lavoisier, 1798, p. 124)

Al final de esta cita se evidencia que la idea de la conservación de la materia para Lavoisier era un principio al que las operaciones que realizaba cumplían y que lo que ocurría eran cambios y modificaciones de la materia.

Como ya se sustentó en el apartado 4.1, el componente *experiencia* incorpora las acciones y procedimientos que implícitamente están vinculados en la realización de experimentos. La época en la cual se realizaron todos los experimentos e interpretaciones descritas en los resultados, se evidencia a través del análisis que la ciencia adquirió un estatus importante ya que se focalizaba en el estudio de la Naturaleza, aunque, quienes lo ejercían no lograron ocupar lugares de privilegio entre los círculos sociales, políticos, religiosos y económicos que frecuentaban. Sin embargo, sí se veía en la ciencia y la técnica como una posibilidad para el mejoramiento de la vida (Sánchez Ron, 2011).

Así como lo plantea Hacking (1996), en esa época y en relación al contexto en el que se desarrollaba la química, había una sincronía entre la representación y la intervención, es decir, los hallazgos experimentales, los instrumentos utilizados y las interpretaciones, explicaciones y modelos que se elaboraban estaban en conjunción y no desligados como es frecuente encontrarlas en la actualidad. Esta situación significó para los científicos partidarios de la química obtener como resultado tres procedimientos: la *descripción experimental*, el *diseño y uso de instrumentos científicos* y la *experiencia imaginativa*. Estos tres procedimientos se llevaban a cabo sincrónicamente y sin establecer jerarquías o categorizaciones de relevancia, por el contrario, acudían a ellas de acuerdo a la necesidad y propósitos establecidos.

La revisión de los **MF**, **PM** y **MI** permitió identificar que algunos científicos en primera instancia imaginaban lo que posiblemente estaba ocurriendo o lo que iba a ocurrir en los experimentos que elaboraban. Esta acción es lo que en esta tesis se le denominó *Experiencia Imaginativa* y básicamente consistió en la representación que los científicos construían ya sea de manera anticipada al experimento o de acuerdo a los resultados que obtenían en los mismos. Ejemplifiquemos esto con algunas citas:

- La mejor manera de examinar la necesidad del Aire para la Llama, consiste no solo hacer varios Intentos, y hacerlos en un medio mucho más delgado que el Aire, sino también intentar, realizarlos en un medio cien veces más grueso que el Aire, llamado *Agua*³⁴ (Boyle, 1673).
- “Destacamos además que las partículas sulfurosas son de carácter natural que apenas podemos imaginar, sin embargo al calentarse pueden ser muy minuciosamente divididas, que van a llegar a ser tan sutiles y agiles como para poder penetrar, partículas de fuego, metales, vidrio, y cosas muy sólidas, y esto parece ser confirmadas por el siguiente experimento³⁵” (Mayow, 1674).
- “Imagine, sin embargo, que, cuando este aire era transferido hacia un vaso limpio, el metal no era fácilmente derretido o calcinado como en aire fresco...³⁶” (Priestley, 1772).

Las tres citas previas de Boyle, Mayow y Priestley sirven para sustentar que ellos visualizaban o hipotetizaban diferentes posibilidades de lo que estaba sucediendo, por ello lo que se estaban imaginando coincidía con sus intereses y **MF** y **MI** para después lograr un **PM** sincronizado. Esto correspondería a un primer paso para llegar a la inmersión dentro del plano microscópico de la química y sobre todo son insumos o condiciones previas que elabora el científico o los científicos para posteriormente llegar a la experimentación cuantitativa guiada (Ferreirós & Ordóñez, 2002; Velasco, 1998).

La *descripción experimental* debe entenderse como la acción y el esfuerzo del científico por relatar paso a paso e incorporar la mayor cantidad de información posible de lo que ejecutaban a través de sus experimentos. Esta era fácilmente identificable en los **PM** que se incluyeron en los resultados. Su importancia radica en que a partir de ellas tanto los historiadores, filósofos, educadores como los científicos destacaban aportes de índole conceptual, procedimental y actitudinal. A partir de estas *descripciones* y reconociendo los

³⁴ Fragmento original: “The better to examine the necessity of Air to Flame, I thought fit not only to make the several Trials mentioned in this Paper, whether it would live in a medium much thinner than Air; but also to try, whether it would be able to continue in a medium many hundred times thicker than Air, namely in Water”.

³⁵ Fragmento original: “We remark further that sulphureous particles are of so crass a nature that we can scarcely imagine, however heated they may be and however minutely divided, that they will become so subtle and nimble as to be able to penetrate, like fiery particles, metals, glass, and such like very solid things, and this seems to be confirmed by the following experiment.”

³⁶ Fragmento original: “I imagined, however, that, even when this air was transferred into a clean phial, the metals were not so easily melted or calcined as they were in fresh air”

planteamientos de Chang (2004, 2008), se puede decir que se podría recuperar (*recovery*) conocimiento científico olvidado.

De acuerdo a lo anterior, en las *descripciones* de los científicos estudiados en cada uno de los episodios históricos por los que atravesó la experimentación asociada a la combustión y en congruencia con los tres hechos previamente sustentados, se logró recuperar lo siguiente:

- Los experimentos se focalizaron en el uso de métodos cualitativos y cuantitativos del análisis mineral y los procedimientos analíticos se realizaban por vía seca.
- Los avances y alcances logrados permitieron avanzar hacia el procedimiento analítico en solución por vía húmeda.
- Finalmente el efecto de los dos procedimientos anteriores contribuyó en el perfeccionamiento de procesos como la fusión, destilación, desecación, lixiviación, evaporación, cristalización, sublimación, disolución metálica, decantación, filtración.

En términos generales, en estas descripciones se puede identificar que la química fue la ciencia de los instrumentos y los materiales, a partir de ellos, se favorecieron las indagaciones en mineralogía, botánica, farmacia, arquitectura e ingeniería, al respecto Klein & Lefevre (2007, p. 1) complementan que la “química fue la única ciencia cultural en el siglo dieciocho donde los materiales fueron estudiados persistentemente, comprensivamente, y desde múltiples perspectivas...”. Este contexto en el que se movía la actividad científica experimental, llevó a los diferentes científicos que conformaban los colectivos o grupos de investigación, a la acción de *diseño y uso de instrumentos científicos*, esto les exigía desarrollar y perfeccionar su **MI**, el cual estaba imbricado o respondía al **MF** que intentaban sustentar o en algunos casos demostrar a través de los experimentos que planeaban y ejecutaban.

Los instrumentos científicos tienen su propia historia, un excelente ensayo que es pertinente referenciar fue el que realizó Warner (1990, p. 83) con el propósito de explorar “la variedad de términos ingleses usados para expresar el concepto de un “instrumento científico” – con alguna evidencia comparativa de Francia y Alemania – y cómo y por qué este ha cambiado con el tiempo”, algunas de las ideas que son importantes referenciar son:

- Su importancia incremento en los primeros años del siglo diecisiete con la invención del telescopio y el microscopio, el barómetro y la bomba de aire, y el reloj de péndulo.
- Estos instrumentos fueron agrupados e identificados como las herramientas del experimento o filosofía natural, y se distinguía de otros, tales como los de música, medicina y matemática.
- Instrumentos y aparatos eran términos usados intercambiamente.
- La primera aparición del término ocurrió en 1649 cuando Samuel Hartlib le escribió a Robert Boyle sobre “modelos y aparatos filosóficos”.
- El significado del nuevo término fue hecho explícito por Nehemiah Grew quien, en su catálogo de objetos, construyó una categoría “De instrumentos relacionados con la

Filosofía Natural” y los distinguía de los instrumentos prácticos los cuales identificaba como “Cosas relacionadas con las Matemáticas”.

- Algunos aparatos filosóficos eran usados para investigaciones científicas, pero muchos fueron usados pedagógicamente.
- Durante el curso del siglo diecinueve los términos “filosofía natural” e “instrumento filosófico” gradualmente perdía uso, mientras “ciencia” e “instrumento científico” empezaba a incrementarse.
- Aquellos científicos interesados en la profesionalización de la ciencia tendían a definir el instrumento científico como las herramientas de su comercio, como distinción, por ejemplo de herramientas de ingeniería.
- Debido a la competencia entre ingleses, franceses y alemanes, se produjeron instrumentos basados en altos estándares de destrezas técnicas y avanzado conocimiento científico.
- James Clerk Maxwell había sido el primero en hablar del significado del término instrumento científico, él decía que “aquellas cosas requeridas para hacer un experimento eran llamadas aparatos” y “una pieza del aparato construido especialmente para el experimento era llamada instrumento”.

Para el caso particular de la química, Anderson (2005) elaboró un capítulo en el que referenció diferentes antecedentes que se interesaron en el tema de los trabajos generales, instrumentos y aparatos de químicos y laboratorios particulares, instrumentos y aparatos por tipo y función, museos y colecciones de laboratorio, y fabricantes de instrumentos.

Sin embargo, es pertinente preguntarse qué se entiende por instrumento científico. Para los empiristas, los instrumentos servían para aumentar las capacidades sensoriales humanas y su propósito, construcción y operación dependía de las características de lo que se estaba investigando (Rothbart, 1999). Mientras que Gaulon (n.d.) en su documento plantea otras definiciones del instrumento científico, entre ellas:

- El instrumento científico es la unión entre experiencia y teoría, entre conocimiento puro y conocimiento aplicado (Robert Helleux).
- El instrumento es la transposición material y tridimensional de una idea científica (Gérard l'Estrange Turner).

En el caso de García-Martínez (2009, 2014) plantea que el instrumento científico es un objeto o grupo de objetos empleados por el científico para observar, medir o reproducir un fenómeno que se desea analizar en un experimento.

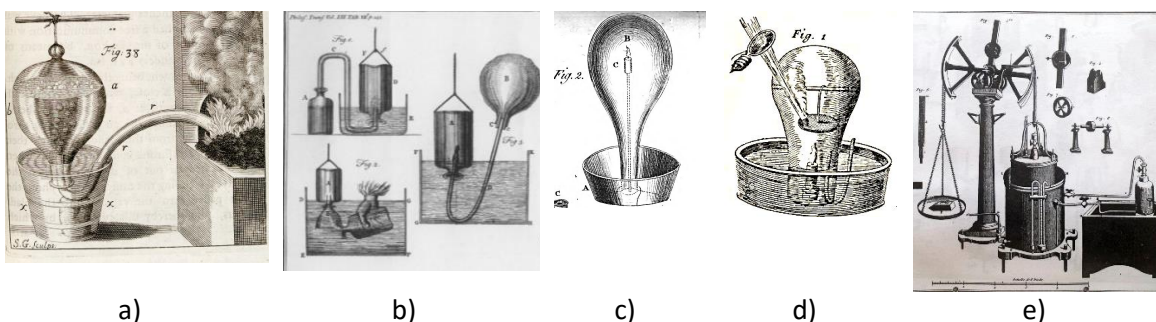
A partir de lo que se ha mencionado y sobre todo basado en los resultados, en esta tesis doctoral se asume a los instrumentos científicos como aquellos objetos que son mejorados, diseñados y utilizados por los científicos a partir de la carga tradicional que han logrado adquirir a través de su interacción, indagación, dialogo y socialización con otros integrantes del colectivo al que pertenecen y su función está direccionada hacia la identificación, análisis, comprobación y medición de los fenómenos que son investigados por medio de los

experimentos. Si partimos de esta apreciación y analizamos los hechos identificados encontraremos que en cada una de las descripciones experimentales que realizaban los científicos, también emergen conexiones y continuidades en los instrumentos científicos.

Por ejemplo, en las Imágenes 5 y 6 se puede observar que la *retorta o pelicano* fue ideado y diseñado desde los alquimistas, entre los que le dieron uso se puede mencionar a Paracelso, Hales, Boyle y Lavoisier, este último plantea y sugiere en una de sus memorias que para lograr un mayor desempeño y alcanzar resultados satisfactorios en el momento del calentamiento de este instrumento, lo ideal era que por medio de un soplete se realizara una curvatura en la punta, de lo contrario, era frecuente que se rompiera. En el caso de las Imágenes 4 y 6 se identificó que otro de los instrumentos frecuentemente usado eran las *campanas* en las que se recolectaban los gases que se producían a través de las reacciones que realizaban.

Ahora bien, en las Imágenes 1 y 2 en términos generales hay similitud, sin embargo, entre las variaciones se incluye el material combustible, platillos, alambres de hierro, sifón, es decir, que los científicos lo que realizaban con los instrumentos científicos eran diversificaciones con el propósito de vislumbrar o buscar otras “anomalías” que les permitieran realizar nuevas interpretaciones. Se puede decir que cada uno de los científicos siempre tenía en cuenta las investigaciones experimentales previas y realizaban ajustes, adecuaciones o terminaban por diseñar nuevos instrumentos, por ejemplo en la Imagen 8 podemos identificar que para la recolección de los gases hubo una diversificación instrumental para proceder con su “captura”.

Imagen 8. Instrumentos para recolectar gases para a) Colector de gases de Hales b) Colectores de gases de Cavendish c) Colector de gases de Scheele d) Caloctor de gases de Mayow e) Colector de gases de Lavoisier



Para cerrar lo correspondiente a la experiencia, se puede decir que son los colectivos de investigación los que validan la información que se obtiene a partir de los experimentos que se realizan. En todas y cada una de estas acciones se percibe que la actividad científica por ser una actividad humana incluye y promueve procesos de creatividad. La imaginación del científico o los científicos los debe llevar a la creación de nuevos conocimientos, a la invención de instrumentos y aparatos, al diseño y ejecución de procedimientos alternativos dentro de las formas de investigar.

Los científicos partiendo de lo conocido creaban nuevas posibilidades, hacían innovaciones, producían nuevas explicaciones y formulaban nuevos interrogantes que contribuían a la transformación de su entorno. A partir de una necesidad, un problema o una anomalía propia del investigador o del contexto social y cultural al que pertenece, se orienta y determinan procesos creativos, por lo tanto, la creatividad es un aspecto cultural que determina las formas de proceder del científico, el ingenio y la capacidad de producir conocimiento.

En esta capacidad de producir conocimiento, adquiere importancia los procesos de comunicación en los cuales se usan con frecuencia términos científicos, se construyen ideas, se elaboran argumentos y se defienden perspectivas. Se tiene entonces que en estas acciones se evidencia y refleja un *lenguaje* que estará cargado de significado para aquellos que lo construyen, comprenden y promueven con el propósito de explicar y comunicar (Saavedra, 2007). Por ello si los sujetos pretenden producir y entender conocimiento en cualquier campo, área o disciplina, el lenguaje sería el mecanismo mediante el cual o se construye una imagen estática, sobrevalorada e inalcanzable de la ciencia o por el contrario se construye una imagen dinámica, problematizadora, inquietante, creativa, imaginativa, curiosa y que puede ser producida a través del trabajo continuo, reflexivo y crítico.

Si revisamos los resultados, podemos analizar que en los episodios históricos, los científicos al socializar sus experimentos y hechos científicos, llevaban a apoyarse de un determinado lenguaje químico expresado por los términos que frecuentemente se utilizaban entre los colectivos de la época. Por ello, la química al igual que en todas las ciencias, el conocimiento que se produce está cargado de vertientes lingüísticas mediadas por la perspectiva de quienes lo construyen, del contexto en el que se desarrolla y del colectivo que integran. Esto confluye en la elaboración de imágenes, modelos, representaciones tanto individuales como colectivas que dan significado a los objetos que analizan.

Con base en lo anterior cabe preguntarse ¿qué tipo de lenguaje químico era frecuentemente usado por los científicos en sus *TCH*? Se logró identificar que los científicos estudiados en su mayoría incluían el *lenguaje verbal* representado a través de los términos alquímicos y posteriormente químicos que utilizaban para referirse a las sustancias que utilizaban en sus diferentes experimentos. Estos términos procedían de campos como la medicina, la farmacia, la mineralogía y la metalurgia, por ello era “posible encontrar términos basados en las propiedades físicas, químicas o medicas de las sustancias, otros basados en nombres de lugar (topónimos), de personas (epónimos) o de cuerpos celestes, así como acrónimos y siglas” (García-Belmar & Bertomeu, 1999, p. 38).

Dos ejemplos que se pueden citar y que están relacionados con el comportamiento químico son el oxígeno y el hidrogeno, el primero procede de las raíces griegas “oxýs” (ácido) y “génos” (generación) y el segundo que procede de la raíz griega “hýdor” (agua) el cual proviene de la reacción de este gas con el oxígeno para producir agua. En el caso del término *mezcla*, adquirirá relevancia experimental para el conocimiento químico por que evidenciaba implícitamente que existían interacciones entre las sustancias que utilizaban, aunque sólo

servía para diferenciarlas cuando eran utilizadas en algún procedimiento. De los *TCH* se pueden extraer algunas citas textuales en las cuales se evidencia explícitamente términos como mezcla, aires (aire común, aire inflamable), álcalis (fijos o volátiles), espíritus ácidos (espíritu del nitro, ácido vitriólico, espíritu de vinagre), ácido de la sal marina, cal, *menstruum* y Solutio – solución – soluble (ver Tabla 4).

Sin llegar a profundizar en el origen o rastreo de los términos de la Tabla 4, sí se puede decir que el significado que se le da a cada uno de ellos dependía de los constructos e ideas que compartían los colectivos que los empleaban, de ahí que definir sería una tarea titánica debido a sus conexiones tanto a las disciplinas como a la vida cotidiana (Izquierdo, 1996a). Esta situación sumada a la sinonimia con la que se designaba una misma sustancia y a la escasa formulación de criterios para nombrarla, con el tiempo serían algunas de las principales razones para formular una terminología química, la cual “es un sedimento histórico que contiene referencias a diversos momentos de la historia de la ciencia” (García-Belmar & Bertomeu, 1999, p. 27).

Tabla 4. Términos químicos identificados en citas textuales de los *TCH*

TÉRMINO ALQUÍMICO (QUÍMICO)	CITA O REFERENCIA TEXTUAL
Mezcla	• ...su cavidad estaba completamente llena con esta mezcla ... (Boyle, 1673) • ...para las partículas de azufre cuando se mezclan con nitro derretido... (Mayow, 1674) • ...contiene una mezcla de aire inflamable y aire común... (Cavendish, 1766) • ...y también cuando lo llene con una mezcla de nieve y sal ... (Priestley, 1775) • ...este fluido estaba mezclado con el aire común contenido en la campana... (Lavoisier, 1775)
Aires (Gas)	• ...ellos fueron los mismos que necesitaron de Aire para iniciar la Pólvora... (Boyle, 1673) • ...el aire encerrado en el alambique... (Mayow, 1674) • ... Una onza de zinc produce alrededor de 356 onzas de aire ... (Cavendish, 1766) • ... La cantidad de aire en la cual una pequeña llama requiere guardar la llama prodigiosamente... (Priestley, 1775) • ...se empieza por llenar de gas oxígeno... (Lavoisier, 1775) • ...se conduce el aire destinado a mantener la combustión... (Lavoisier, 1775) • ...cuando inmediatamente el aire inflamable toma fuego... (Scheele, 1780)
Álcalis (bases)	• ...o por los alcalis fijos o volatiles... (Cavendish, 1766) • ... de los álcalis efervescentes por su combinación con los ácidos... (Lavoisier, 1775)
Espíritus ácidos (Ácidos)	• ... no solo del espíritu del nitro en el cual las partículas nitro aéreas... (Mayow, 1674)

	• ...el Hierro se disuelve pero lentamente en el espíritu de la sal mientras se enfría... (Cavendish, 1766) • ...la llama de espíritu de vino que me ha servido para esta operación... (Lavoisier, 1775) • ... el experimento sucedió perfectamente bien con aire en el cual el espíritu del vino había encendido...(Priestley, 1775) • ... puse una pequeña cantidad del fumante espíritu del vino puro... (Scheele, 1780)
Cal (Óxidos)	• ...la porción de cal que se forma crece en proporción a su capacidad... (Lavoisier, 1775) • ...la cal inmediatamente precipitó el aire fijo... (Priestley, 1775) • ... Puse sobre un ducado alguna cal de mercurio... (Scheele, 1780)
Menstruum (Disolvente)	• ... Algo del aire inflamable, producido por disolución de zinc en aceite de vitriolo diluido... (Cavendish, 1766) • ... de los álcalis salinos y terrosos al disolverlos en ácidos... (Lavoisier, 1775) • ... disolví oro en <i>Aqua Regis</i>... (Scheele, 1780)
Soluto – solución – soluble	• ... forma una sal selénica, la cual es soluble en agua... (Priestley, 1775) • ... La mezcla de los dos gases se conduce por este tubo hasta unos frascos llenos de una disolución de potasa libre de ácido carbónico... (Lavoisier, 1775) • ... el aire inflamable generado por la solución en ácido ... (Cavendish, 1766)

En los *TCH* se evidenció la creatividad de los científicos para expresar con cohesión y coherencia los términos químicos, ideas, actividades, procedimientos e instrumentos que integraban la forma y manera de concebir el conocimiento químico que se obtenía a partir de la integración entre la teoría y la experimentación que realizaban, este proceso era dinámico, central y decisivo en la labor de comunicar y socializar sus propuestas (García-Belmar & Bertomeu, 1999). La sumatoria y el esfuerzo experimental y teórico, les permitió a los colectivos de científicos formular novedades en el pensamiento, en la forma de proceder e interpretar las experiencias que se realizaban al interior de sus grupos. Uno de esos esfuerzos fue la publicación del *Traité élémentaire de chimie*, en 1789, el cual se puede considerar como un libro de texto dirigido a la reforma de la enseñanza de la química que presentaba un método de organización de los contenidos de la química basado en la progresión “de lo simple a lo complejo”. Otro destacable acontecimiento vinculado a la reforma del lenguaje de la química fue la publicación del *Méthode de nomenclature chimique* en donde Lavoisier y sus colaboradores formularon la nomenclatura química (Cabrera, 2010b).

Otra forma de expresar el lenguaje químico que se logró identificar en el análisis de los *TCH* fue la referencia hacia el uso de *símbolos químicos* específicamente por parte de Lavoisier. Como se puede ver en la Imagen 9, él manifestaba que empleaba los símbolos químicos propuestos por Jean Henri Hassenfratz (1755 – 1827) y Auguste Adet (1763 – 1834) quienes establecieron símbolos que incluían

una línea recta para las sustancias que parecen entrar en la combinación de un gran número de cuerpos; un triángulo para álcalis y tierras, un semicírculo para sustancias inflamables, un círculo para los metales, un cuadrado para los radicales ácidos y un rombo para aquellas sustancias cuyos componente todavía no eran conocidos...para diferenciar a las sustancias dentro de cada grupo, propusieron el empleo de las iniciales de sus nombres latinos. Las sustancias compuestas erran designadas mediante la unión de los símbolos de las sustancias simples que las componían (García-Belmar & Bertomeu, 1999, p. 72)

Imagen 9. Símbolos químicos propuestos por Hassenfratz y Adet. Fuente: tomado de Ihde (1984)

CARACTERES.

Cuerpos muy simples, que á la temperatura ordinaria están en forma de gases.		Luz.	<i>Metales que se reducen por solo el calórico.</i>		Platina.
		Calórico.			Oro.
		Oxígeno.			Plata.
		Azoote.			Mercurio.
Alkaliz.		<i>Caractéres para los cuerpos acríformes que se descubren.</i>	<i>Metall líquido por la temperatura ordinaria.</i>		Estafío.
		Potasa.			Cobre.
		Sosa.			Plomo.
		Baryte.			Hierro.
Tierras.		Cal.	<i>Metales maleables.</i>		Zinc.
		Magnesia.			Manganesa.
		Alumíne.			Nickel.
		Silíce.			Bismuto.
Cuerpos inflamables.		Hidrogeno.	<i>Metales no maleables.</i>		Antimonio.
		Carbon.			Cobalto.
		Azufre.			Arsénico.
		Phosphoro.			Molybdena.
		<i>Caractéres para señalar los cuerpos inflamables que se descubren.</i>	<i>Metales acídificables.</i>		Tungstena.

CARACTERES.

Radical Muriático.		<i>Cuerpos compuestos, que aun no están determinados.</i>		Ether.
				Alcool.
				Aceyte fixo.
				Aceyte volátil.
		<i>Caractéres generales.</i>		Betum.
				Mucilago.
				Alkaliz.
				Tierras.
		<i>Cuerpos combustibles.</i>		<i>Cuerpos combustibles.</i>
		<i>Caractéres generales.</i>		
		<i>Cuerpos metálicos.</i>		<i>Cuerpos metálicos.</i>
		<i>Bases compuestas acídificables.</i>		<i>Bases compuestas acídificables.</i>

Estos símbolos químicos correspondían a una manera de modelizar las sustancias que utilizaban y su comprensión constituía posteriormente las perspectivas que defendían y socializaban frente a los grupos de investigación. Se tiene así que tanto los términos químicos como los símbolos químicos integran el lenguaje químico, el cual a su vez es una creación ya que no existía previamente y fue progresando en la medida que los adeptos lo apropiaban y adoptaban para intervenir en el mundo, al respecto dice García-Belmar & Bertomeu (1999, p. 17) que “el científico emplea el lenguaje no sólo para transmitir información sino también

para persuadir a sus colegas acerca de la validez de sus conclusiones y para convencerlos de la necesidad de adoptar puntos de vista”.

Estas ideas coinciden con dos de los niveles planteados por Jacob (2007) por un lado está el primer nivel (símbolos químicos) el cual estuvo representado por el uso inicial que Lavoisier hacía de los símbolos propuestos por Hassenfratz y Adet. En este sentido, en la interfase “entre la manipulación de sustancias y la manipulación de los símbolos, donde las operaciones simples (tales como mezclar o quemar) llegan a ser descriptibles y generalmente reproducibles” (Jacob, 2007, p. 127) y por otro lado el tercer nivel (términos) en el cual se incorporaban aquellos que provenían de la tradición alquímica y que con los años fue reemplazada por los propuestos por los que incluía la *nomenclatura* producto del trabajo colectivo entre Lavoisier, Guyton de Morveau (1737 – 1816), Claude Louis Bertholet (1748 – 1822) y Antoine Francois de Fourcroy (1755 – 1809),

Mientras que el segundo y cuarto nivel (vocabulario y sintaxis y semántica respectivamente) sólo fue alcanzada a través de los aportes que realizó Jacob Berzelius (1779 – 1849) por medio de sus fórmulas, por medio de las cuales se representaba los elementos con la primera letra (o las dos primeras) de sus nombres latinos y se agregaba un número para indicar la proporción en la que se combinaban, los compuestos simples las iniciales eran unidas mediante el signo “+”, y en los compuestos complejos las fórmulas estaban formadas por una unión directa de las iniciales de los elementos y superíndices numéricos para informar sobre la proporción de cada elemento (García-Belmar & Bertomeu, 1999).

De acuerdo a lo anterior y al visualizar la actualidad se puede decir que el lenguaje químico que en este momento es enseñado en las clases de química para representar los elementos, compuestos y reacciones esta articulado con sistemas de representación del lenguaje matemático que por lo general recae en la manipulación experimental de aparatos y medidas y sobre todo en los aspectos teóricos y conceptuales (Chamizo, 2013; Lemke, 1998).

Los químicos y profesores de química desconocen que los términos que utilizan fueron acuñados de diversas épocas e influenciados por diferentes sociedades, culturas, economías e intereses doctrinales y religiosos, así que los propósitos, intereses, interrogantes y acciones que caracterizan el interior de estos colectivos, debían conducir a la explicación, comunicación y socialización de fenómenos y hechos científicos, de esta manera, cuando el lenguaje científico químico evoluciona les permitirá a sus practicantes tener la posibilidad de buscar acciones alternativas, ordenar los hechos y articularse con otros fenómenos y disciplinas, de lo contrario, permanecerá inmutable, algo fósil y semidifunto (García-Belmar & Bertomeu, 1999; Izquierdo, 1996a).

6.3.Explicaciones dadas por los profesores en formación inicial en ciencias naturales

Antes de presentar el análisis de este apartado, es necesario aclarar a partir de la información recolectada por medio de los cuestionarios, no se pretendía establecer ninguna contrastación con los resultados del *AHC* elaborado previamente, es decir, no existe el propósito de mostrar cómo los hechos científicos – e incluso los aspectos del conocimiento químico, la experiencia y el lenguaje químico identificados – que fueron identificados están presentes o ausentes en las explicaciones de los *PFICN*, a diferencia de esto, lo que se determinó fue utilizar los resultados de dicho *AHC* para diseñar el cuestionario que fue aplicado a los participantes de la investigación.

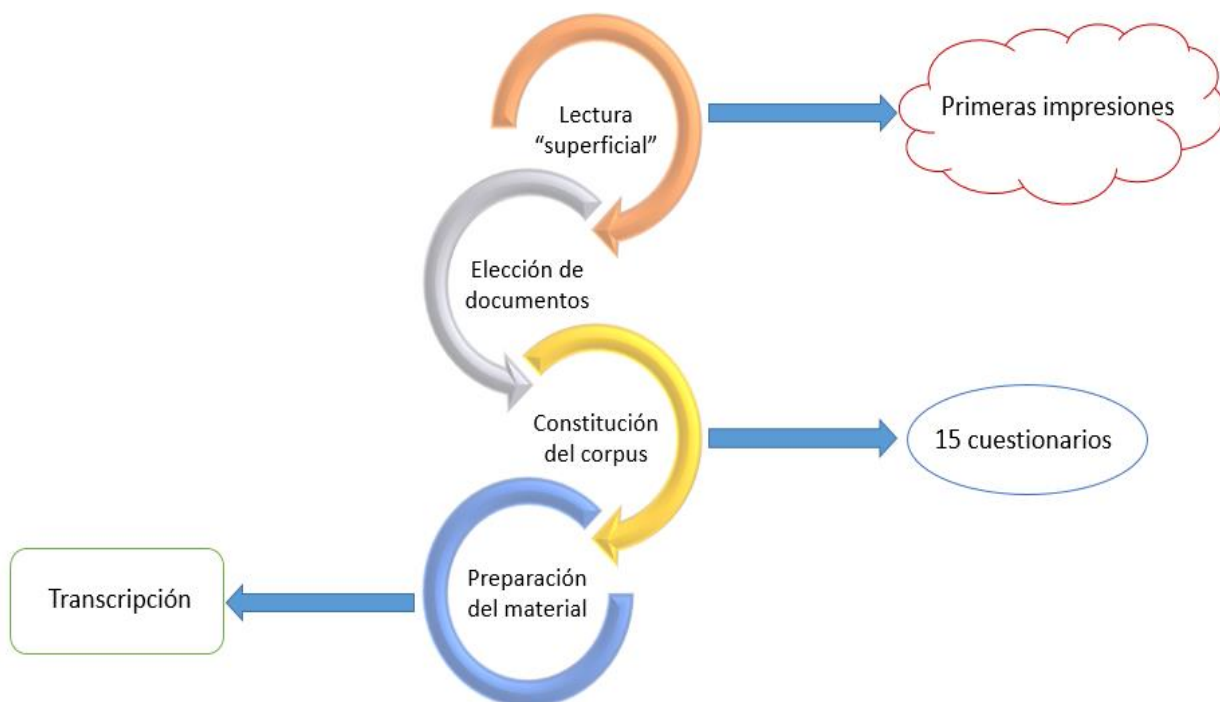
Diseñar un cuestionario con los resultados del *AHC*, fue significativo para esta investigación porque permitía ser consecuentes con los planteamientos teóricos de la construcción de significados como un enfoque alternativo de enseñanza de las ciencias; como se escribió en el apartado 5.3.4 la estructuración de dicho cuestionario estuvo conformada por situaciones problema – en algunos casos citas textuales de los *TCH* y en otros de elaboración propia – y preguntas abiertas, lo cual también se distanciaba de lo que tradicionalmente es empleado con los estudiantes, es decir, preguntas de selección múltiple, definiciones y resolución de ejercicios.

Ahora bien, este apartado estará dirigido exclusivamente hacia la descripción, interpretación, conceptualización y análisis de los resultados obtenidos a partir de las respuestas elaboradas por los profesores en formación inicial. Las tres fases que lo componen fueron retomadas desde la perspectiva de Bardin (2002) quien sustenta e incluye el pre-análisis, la explotación del material y el tratamiento e interpretación de los resultados. La información que a continuación se incluirá a esas etapas.

6.3.1. Pre-análisis

En la Figura 9 podemos identificar que la operacionalización de esta fase inicio con la lectura “superficial” cuyo interés estuvo focalizado en generar las primeras impresiones de la información consignada en los cuestionarios. Este acercamiento inicial permitió visualizar de manera general el tipo de información que se incluía en las respuestas y las posibles acciones que se debían seguir.

Figura 9. Acciones realizadas en la fase del pre-análisis



Debido a que el instrumento fue resuelto a mano por los estudiantes, la lectura de los mismos se tornó difícil en algunas ocasiones, por ello la primera acción consistió en realizar la transcripción – en un procesador de textos (Word) – las respuestas de los profesores en formación inicial del programa de Licenciatura en Educación Básica en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, de esta manera se logró la preparación del material, la segunda acción fue adjuntar los documentos elegidos en el programa ATLAS.ti.

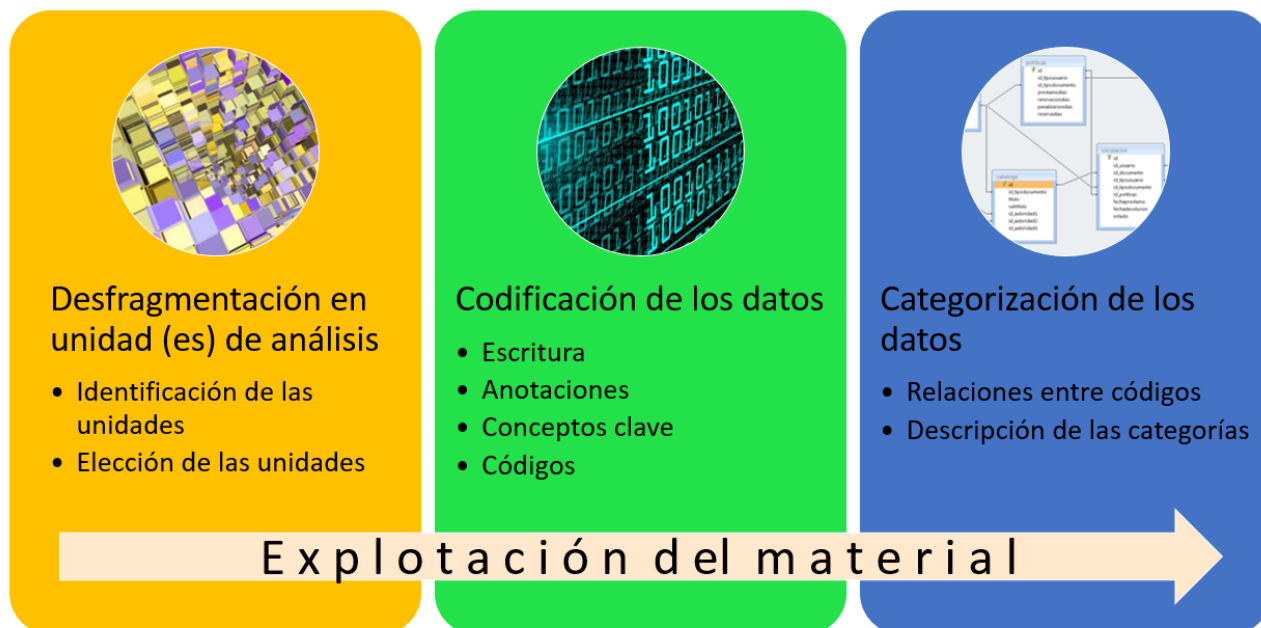
El contacto con la información anterior sirvió para determinar que finalmente la constitución del corpus estaría conformado por 15 cuestionarios (ver Anexos 25 – 39) con los cuales se realizó el proceso de análisis definitivo.

6.3.2. Explotación del material

El término explotación hace referencia a la labor exigente y detallada de descubrir, explorar y sobre todo codificar y categorizar la información relevante que estaba contenida en cada una de las respuestas de los cuestionarios. Todo esto estuvo mediado por el propósito de caracterizar las explicaciones de los profesores en formación inicial en ciencias naturales sobre la combustión. Como se puede observar en la Figura 10, esta fase estuvo integrada por

la desfragmentación en unidades de análisis, la codificación de los datos y la categorización de los datos.

Figura 10. Acciones realizadas en la fase de explotación del material



6.3.2.1.Desfragmentación en unidad (es) de análisis

En la Figura 11 se logra observar que durante este proceso la acción más importante estuvo orientada hacia la atomización de la información en unidades de análisis (a partir de ahora *UdA*), estas fueron seleccionadas porque adquirirían significado para el propósito por el cual fue realizado el cuestionario. En la medida que se fue realizando esta actividad se obtuvieron *UdA* de diferente naturaleza y tamaños (ver Tabla 5)

Figura 11. Unidad de análisis seleccionada

37	2010CEL05	Porque es el óxido de estaño, que tiene una mayor densidad que el estaño y se precipita al fondo.
	2011CEL08	Porque es producto de la calcinación del estaño.
	2011CEL10	Pues a medida que se evapora el líquido del estaño, se genera el polvo.
41	2012CEL14	Por que sufrió un cambio de estado el estaño que hizo que su densidad cambiara y por ende su peso.
	2012CEL15	El polvo negro se depositó en el fondo del vaso porque es más denso que el estaño.
45	2012CEL17	El polvo negro se deposito en el fondo porque la retorta estaba cerrada con un soplete en la abertura capilar del extremo del cuello, y cuando el estaño comenzo a fundirse el gas se condenso al enfriar el vaso y este polvo como era mas pesado que el estaño entonces quedo en el fondo, porque cambio sus propiedades físicas y químicas.
49		
53		

✖ Unidad de análisis

Tabla 5. Ejemplo de diferentes unidades de análisis identificados

PARTICIPANTE	UNIDAD DE ANÁLISIS (TRANSCRITA)	UNIDAD DE ANÁLISIS (ORIGINAL)
2010CEL02	"...enlaces moleculares..."	enlaces moleculares
2010CEL03	"...al quemarse el combustible A se desprende vapores que hacen que el volumen dentro del vaso aumente..."	5) al quemarse el combustible A se desprende vapores que hacen que el volumen dentro del vaso aumente, lo cual hace que el agua
2011CEL08	"...→..."	→

6.3.2.1.1. Codificación de los datos

La desfragmentación en *UdA* puede catalogarse como un primer nivel de análisis que llevaba implícito la realización de la codificación de los datos. Este proceso inició con la ejecución de una codificación abierta, la intención consistía en catalogar las *UdA* que se iban seleccionando. En la Tabla 6 podemos observar que de los 22 códigos que se lograron vislumbrar, las de mayor presencia fueron: términos cotidianos referentes a la combustión, términos químicos, términos químicos referentes a la combustión, no identifica al oxígeno en los reactivos en la calcinación, no identifica la función del combustible, comburente, chispa/temperatura y productos obtenidos en la combustión, no identifica la importancia de la chispa/temperatura en la combustión, no identifica los productos de la calcinación, reconoce la Importancia del instrumento en el experimento.

En la Tabla 7 se puede identificar los códigos finales obtenidos en segunda instancia mediante la codificación axial, a través de este proceso se revisaron, compararon, depuraron, asociaron y renombraron los códigos que habían emergido anteriormente³⁷. Es conveniente aclarar que algunos de los códigos que habían sido elaborados para hacer referencia al aspecto conceptual de la combustión³⁸ fueron agrupados de acuerdo algunas características propuestas en las investigaciones de Andersson (1986), Andersson (1990), Watson, Prieto Ruz, & Dillon (1995), Prieto (1996), Watson, Prieto, & Dillon (1997), Watson et al., (1997) y Prieto & Watson (2007), se tomó esta decisión debido a que existía proximidad entre los códigos que se habían elaborado y las características que estos investigadores propusieron³⁹.

³⁷ Debido a la gran cantidad de *UdA* obtenidas al final de este proceso, se tomó la decisión de incluirlas todas en el Anexo 40.

³⁸ Los códigos inherentes al aspecto conceptual son aquellos que en la Tabla 6 están en letras verdes.

³⁹ En la Tabla 7 los códigos que están en letras azul emergieron exclusivamente en el desarrollo de esta investigación.

Paralelo a la depuración anterior, los códigos que finalmente se iban obteniendo, fueron asociados a subcategorías, y estas a su vez relacionadas a las categorías que estaban pre-visualizadas dentro de la problemática propia de la investigación, es decir, conocimiento, experiencia y lenguaje.

Tabla 6. Resultados de la codificación abierta de las unidades de análisis

CÓDIGOS	PARTICIPANTES															
	2010 CEL 01	2010 CEL 02	2010 CEL 03	2010 CEL 04	2010 CEL 05	2011 CEL 08	2011 CEL 10	2012 CEL 14	2012 CEL 15	2012 CEL 17	2012 CEL 18	2012 CEL 19	2012 CEL 20	2012 CEL 21	2012 CEL 23	
El aire como reactivo en la calcinación			X													
El cambio de temperatura y falta de oxígeno como factores determinantes de la precipitación	X															
El comburente en la combustión	X						X									
El combustible y comburente en la combustión				X	X				X	X						
Combustible, chispa/temperatura y algunos productos de la combustión						X										
Combustible, comburente, chispa/temperatura y algunos productos de la combustión														X		
El oxígeno como reactivo en la calcinación					X											
Algunos productos de la calcinación					X											
Algunos productos de la combustión				X												
El fuego como reactivo en la calcinación	X					X			X		X				X	
La función de la chispa/temperatura y algunos productos de la combustión		X	X								X					
No identifica al oxígeno en los reactivos en la calcinación	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	
No identifica la función del combustible, comburente, chispa/temperatura y productos obtenidos en la combustión	X	X	X			X	X		X	X	X	X	X	X	X	
No identifica la importancia de la chispa/temperatura en la combustión	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	
No identifica los productos de la calcinación	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X	X	
La chispa/temperatura como precursora en la combustión		X			X	X						X		X		
Términos cotidianos referentes a la calcinación							X					X				
Términos cotidianos referentes a la combustión	X	X		X	X	X	X			X	X	X	X	X		
Términos químicos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Términos químicos referentes a la calcinación		X	X			X	X			X		X		X		
Términos químicos referentes a la combustión		X	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X		
Reconoce la importancia del instrumento en el experimento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Tabla 7. Resultados de la codificación axial de las unidades de análisis

CATE GORÍ AS	SUBCATE GORÍAS	CÓDIGO	PARTICIPANTES															
			201 0CE L 01	201 0CE L 02	201 0CE L 03	201 0CE L 04	201 0CE L 05	201 1CE L 08	201 1CE L 10	201 2CE L 14	201 2CE L 15	201 2CE L 17	201 2CE L 18	201 2CE L 19	201 2CE L 20	201 2CE L 21	201 2CE L 23	
Conoci miento	Científico (Químico)	Reacción química (RxQ)		X		X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	
		Transmutación (Tr)	X	X				X	X		X		X					
		Modificación (Mo)	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Cotidiano	Enunciado personal (EP)	X		X				X	X				X	X	X		
Lengua je	Verbal	Término químico (LV)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Gráfico	Iconemas químicos (corchetes, signos de carga, fórmulas de especies químicas) (LG)	X						X			X		X	X			
	De fórmulas	Ecuación química (LF1)						X						X			X	
		Símbolo químico (LF2)				X									X	X	X	
	Cotidiano	Término cotidiano (LC)	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		
Experie ncia	Descripción experiment al	Reconstrucción corta de la experiencia (EDE1)		X	X	X						X			X	X	X	
		Énfasis en el procedimiento experimental (EDE2)							X									
	Uso instrumenta l	Incluye instrumentos en sus experiencias (EUI1)	X				X	X					X	X		X	X	
		Describe el funcionamiento de instrumentos (EUI2)			X		X			X	X							
	Imaginativa	Imagina lo que ocurre en un experimento (EI)		X		X		X				X			X	X		

6.3.2.1.2. Categorización de los datos

La labor exhaustiva anterior desembocó en un análisis de segundo orden, también llamado categorización de los datos, y se realizó con el propósito de integrar los códigos. De acuerdo al problema de investigación formulado y en relación con el apartado 4.1, las tres categorías y sus respectivas subcategorías, a continuación las describo.

6.3.2.1.2.1. Descripción de las categorías

6.3.2.1.2.1.1. Categoría “conocimiento”

La importancia de esta categoría radica en que el conocimiento se construye de forma dinámica y está en continuo elaboración, replanteamiento y reformulación (Concari, 2001; Fleck, 1986; Sanmartí et al., 1999).

Debido a que los intereses de esta investigación estuvieron asociados al contenido conceptual de la combustión, en la Figura 12 podemos observar que esa incluía dos subcategorías:

A. *Conocimiento científico*: esta subcategoría hace referencia específicamente al conocimiento químico y se entiende como el reflejo de aquel conglomerado de conceptos, teorías, leyes, valores, actitudes y modelos, que han interpretado los estudiantes y que han incorporado en su pensamiento después de haber cursado y aprobado los diferentes cursos de química que matriculan en el programa de licenciatura.

La manera de visualizar esta subcategoría, fue a través de los siguientes códigos:

- *Modificación* incorporó aquellas UdA codificadas que implícita o explícitamente permitían entrever que “lo que parece ser una nueva sustancia es la misma sustancia como antes en una forma modificada” (Prieto, 1996, p. 76) o “implica que una sustancia retiene su identidad mientras algunas de sus propiedades están cambiando” (Andersson, 1990, p. 56). “La llama/fuego es la fuente de calor que produce la modificación (Prieto, 1996, p. 76). La chispa no era tenida en cuenta ni mencionada en las explicaciones.
- *Transmutación* incorporó UdA codificadas que implícita o explícitamente permitían distinguir que algunos cambios son explicados en términos de transmutación de una sustancia en energía, o de energía en sustancia, o de una sustancia en otra (Andersson, 1990, p. 57). “La llama/fuego son los agentes activos del cambio que contienen combustible, aire o los dos, pero no interaccionan” (Prieto, 1996, p. 76). La chispa sólo es mencionada pero no cumple una función preponderante en la reacción

- *Reacción química* incorporó UdA codificadas que implícita o explícitamente permitían evidenciar que “se tienen en cuenta al menos tres componentes: combustible, oxígeno y producto... el fuego/llama y el calor desprendidos son evidencias de la reacción química y la llama contiene al combustible y al oxígeno interaccionando” (Prieto, 1996, p. 77). La chispa es fundamental porque a través de ella se alcanza la energía de activación necesaria para que ocurra la reacción.

B. *Conocimiento cotidiano*: esta subcategoría vincula aquellas explicaciones que ejemplifican el fenómeno de la combustión por medio de expresiones que habitualmente se usan en la interacción con personas.

Esta subcategoría incluyó el siguiente código:

- *Enunciado personal* incorporó UdA codificadas que explícitamente incorporaban términos cotidianos para referirse a la combustión.

6.3.2.1.2.1.2. Categoría “lenguaje”

Esta categoría se entiende como una actividad del ser humano, que permite verbalizar y transmitir el pensamiento a través de signos, códigos, formulas, expresiones corporales, verbales (Lemke, 1997; Sutton, 1998a). La importancia de esta categoría radica en que tiene una función esencial en la construcción de ideas, modelos científicos y en la elaboración de explicaciones, por ello, “es necesario hablar, escribir y leer sobre las ideas, sobre las semejanzas y las diferencias, sobre las causas y sus efectos” (Márquez, 2005).

En la Figura 12 podemos leer que esta categoría estuvo conformada por las subcategorías emergentes denominadas:

- A. *Verbal* que incorporó UdA codificadas que explícitamente hacían referencia a reactivos, productos y otros factores que participan en la combustión.

Esta subcategoría incluyó el siguiente código:

- *Termino químico*: unidades dinámicas que adoptan un sentido único y especializado, utilizadas para “rotular” el mundo y posibilitan la comunicación entre los integrantes de un colectivo.
- B. *Gráfico* que incorporó UdA codificadas que explícitamente hacían referencia a un sistema de notación que refleja alguna propiedad o mecanismo de la combustión.

Esta subcategoría incluyó el siguiente código:

- *Iconema químico*: se incluyen notaciones, signos matemáticos, corchetes, esferas, fórmulas de especies químicas (Bekerman & Galagovsky, 2009).
- C. *De fórmulas* incorporó *UdA* codificadas que implícita o explícitamente admitían “la descripción de una reacción mediante su ecuación química balanceada” (Galagovsky & Giudice, 2015, p. 92).

Esta subcategoría incluyó el siguiente código:

- *Símbolo químico*: abreviaciones para indicar los elementos y compuestos químicos.
 - *Ecuación química*: la notación que utiliza símbolos para expresar lo que ocurre en una reacción.
- D. *Cotidiano* incorporó *UdA* codificadas que implícita o explícitamente permitían la utilizan términos que han sido adquiridos a través de la interacción con los contextos en los que interactúan, cuya comprensión y uso puede ser erróneo.

Esta subcategoría incluyó el siguiente código:

- *Termino cotidiano*: unidades que se utilizan diariamente para referirse a la combustión y calcinación.

6.3.2.1.2.1.3. Categoría “experiencia”

Se entiende como las acciones, actividades prácticas orientadas hacia la comprensión de los fenómenos y hechos que articulan el cognoscente, lo ya conocido y lo por conocer. Su importancia radica, a que de acuerdo a las experiencias se pueden realizar reestructuraciones al conocimiento y al lenguaje sobre un concepto previamente construido (Caamaño, 2004; Fleck, 1986; Scott, 2001).

En la Figura 12 podemos leer que esta categoría estuvo conformada por las subcategorías emergentes denominadas

- A. *Descripción experimental* incorporó *UdA* codificadas que implícita o explícitamente permitían una reconstrucción de la experiencia con los fenómenos para dotarlos de significado a través del lenguaje escrito (Cabrera, 2015; Ramos De Robles & Espinet, 2013).

Esta subcategoría incluyó el siguiente código:

- *Reconstrucción corta de la experiencia*: textos reducidos o cortos mediante los cuales se describía nuevamente la experiencia.
 - *Énfasis en el procedimiento experimental*: textos cortos en los cuales además de describir la experiencia se identificaba implícita o explícitamente el procedimiento.
- B. *Uso instrumental* incorporó *UdA* codificadas que implícita o explícitamente reconocían el uso de diversos instrumentos (sustancias, instrumentos, aparatos) necesarios para la elaboración y ejecución de los experimentos (Pickering, 1989).

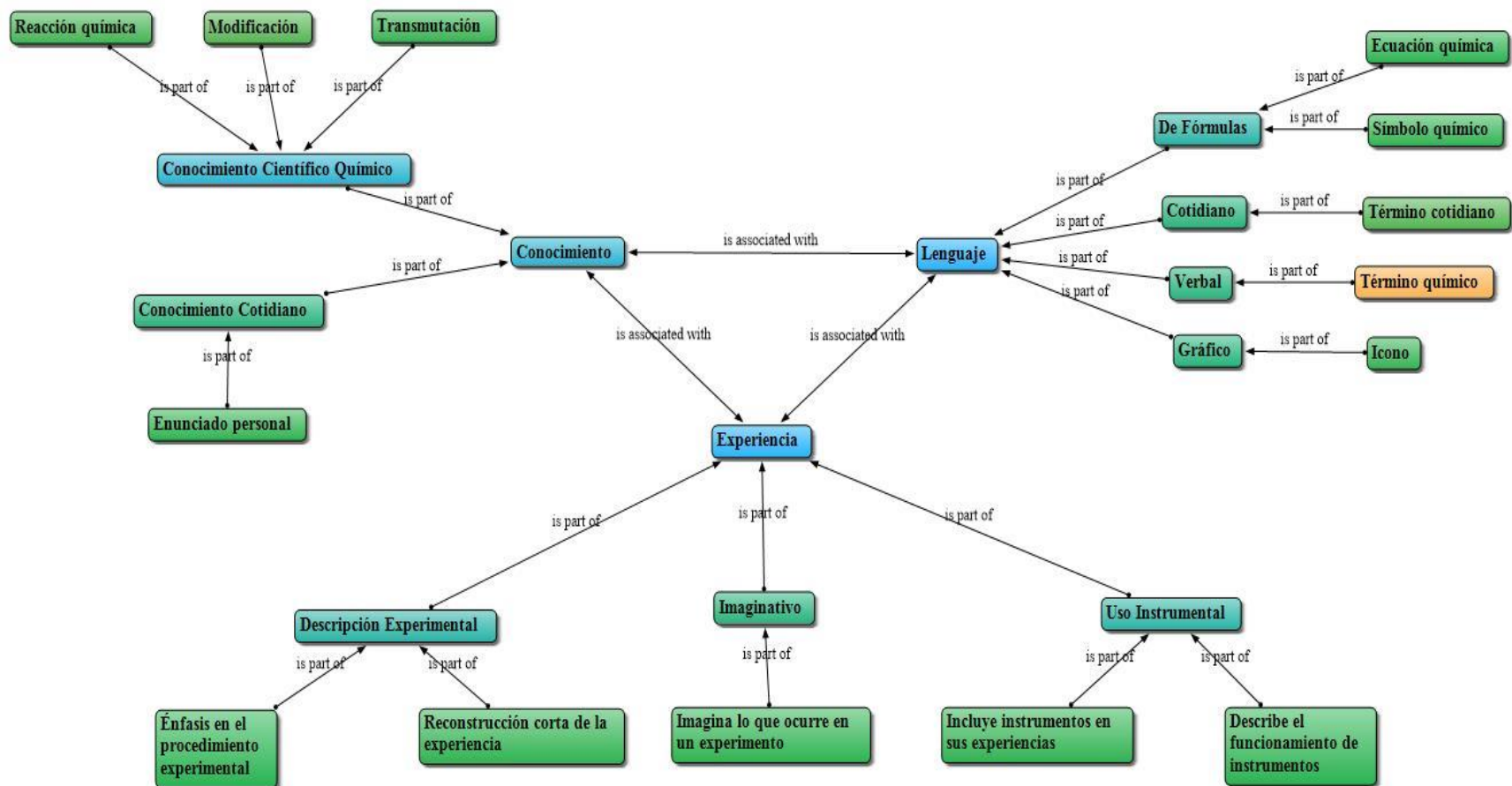
Esta subcategoría incluyó el siguiente código:

- *Incluye instrumentos en sus experiencias*: textos en los que únicamente se referenciaban materiales, sustancias, elementos, compuestos, aparatos, instrumentos.
 - *Describe el funcionamiento de instrumentos*: textos en los que implícita o explícitamente se hacía referir la función de materiales, sustancias, elementos, compuestos, aparatos, instrumentos.
- C. *Imaginativa* incorporó *UdA* codificadas que explícitamente permitían reconocer a través de sus respuestas lo que estaban imaginando acerca de lo que ocurría en las situaciones experimentales.

Esta subcategoría incluyó el siguiente código:

- *Imagina lo que ocurre en un experimento*: textos en los que explícitamente se hacía referencia a lo que imaginaban que ocurría en la combustión.

Figura 12. Categorías, subcategorías y códigos identificados en las explicaciones de los participantes



6.3.3. Tratamiento e interpretación de los resultados

Finalizada la selección de las unidades de análisis y las categorías emergentes, en lo que sigue a continuación se exponen los *análisis de tercer orden o interpretación conceptual* lo que en términos normales se denomina *análisis de los resultados* y la evaluación de la información recolectada. Este análisis consiste en interpretar las unidades de análisis seleccionadas para cada una de las categorías propuestas, además, tiene el propósito de visualizar aquellas conexiones que emergen y caracterizan las explicaciones o respuestas de los estudiantes.

En esta última fase es importante acudir a la *selección de unidades de análisis* que significativamente pueden llegar a “comunicar” información importante y necesaria a la luz del propósito y la pregunta de investigación. Este proceso sumado a la *inferencia* conducirá definitivamente a la *interpretación y conceptualización*, “que no es otra cosa que entender el fenómeno de estudio para generar explicaciones” (Camacho, 2010, p. 196), que con el apoyo de redes conceptuales se condensó la información relevante, producto del análisis.

Las explicaciones elaboradas por los *PFICN* a cada una de las ocho (8) preguntas que conformaban el cuestionario favorecieron la identificación de diferentes ideas (citas) que a través de la asociación permitieron la caracterización y vinculación con las tres categorías que integran los ejes del enfoque de enseñanza que fue sustentando en el marco teórico. Lo que sigue a continuación es el análisis que brindó y permitió visualizar la estructuración, relación y tendencia inherente a las categorías.

6.3.3.1. Ideas de los *PFICN* acerca de la categoría Conocimiento

De acuerdo a lo que se observa en la Tabla 8, se puede identificar con respecto a la subcategoría Conocimiento Científico Químico, que el conteo determinó un empate técnico entre los códigos *Reacción Química (CRxQ)* y *Modificación (CMo)* ya que fueron utilizadas por 12 y 13 *PFICN* respectivamente, mientras que el código *Transmutación (CTr)* estaría en tercer lugar con un total de 6 *PFICN*. En el caso de la subcategoría Conocimiento Cotidiano el código *Enunciado Personal (CEP)* fue utilizado por 8 *PFICN*.

Lo que sigue a continuación es avanzar hacia la solución de las preguntas ¿Qué hallazgos se pueden sustentar en torno al conocimiento químico adquirido en la formación de los futuros profesores de ciencias naturales? ¿Cuál es el significado inherente a estos hallazgos?

Tabla 8. Compilado de los PFICN y los códigos, subcategorías y categorías identificadas

CATEGORÍAS	SUBCATEGORÍAS	CÓDIGO	PARTICIPANTES															TOTAL
			2010CEL01	2010CEL02	2010CEL03	2010CEL04	2010CEL05	2011CEL08	2011CEL10	2012CEL14	2012CEL15	2012CEL17	2012CEL18	2012CEL19	2012CEL20	2012CEL21	2012CEL23	
Conocimiento	Científico	RxQ		1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	12
		Tr	1	1				1	1		1		1					6
		Mo	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
	Cotidiano	EP	1		1				1	1				2	1	1		8
Lenguaje	Verbal	LV	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15
	Gráfico	LG	1					1			1		1	1		1		5
	De fórmulas	LF1						1						1			1	3
		LF2				1								1	1	1		4
	Cotidiano	LC	1	1	1	1	1	1	1		1	1		1	1	1		12
Experiencia	Descripción Experimental	EDE1		1	1	1						1			1	1	1	7
		EDE2							1									1
	Uso Instrumental	EU11	1				1	1					1	1		1	1	7
		EU12			1		1			1	1							4
	Imaginativa	EI1		1		1		1				1			1	1		6

Los códigos *CMo*, *CTr* y *CRxQ* conforman la manera como los *PFICN* han logrado construir, representar, intervenir y explicar las transformaciones químicas. El análisis de estas estuvo orientado hacia cuatro ejes:

- I. Importancia y necesidad del oxígeno y su interacción con el material combustible.
- II. Papel del fuego/llama.
- III. Reactivos y productos obtenidos.
- IV. Función de la chispa.

Los tres primeros ejes coinciden tanto con los reportes investigativos de Prieto & Watson (2007) y Prieto (1996) como con el análisis histórico crítico que previamente fue presentado, mientras que el último eje es producto únicamente del *AHC* de esta tesis.

Se puede caracterizar y sustentar a partir de estos resultados, que existe una hibridación en el conocimiento científico químico que los *PFICN* han adquirido en su formación, por ejemplo en las respuestas el participante 2010CEL03, utilizó ideas sobre *CMo* y *CEP*, el participante 2011CEL10 acudió a ideas sobre *CRxQ*, *CTr*, *CMo* y *CEP* y, el estudiante participante *CRxQ*, *CTr* y *CMo*. Al igual que ellos, las explicaciones de los otros *PFICN*, también combinaban ideas relativas a estos cuatro códigos.

6.3.3.1.1. Ideas de los *PFICN* acerca de la subcategoría Conocimiento Científico

6.3.3.1.1.1. Modificación (*CMo*)

A partir de algunos resultados se elaboró la Figura 13 con el propósito de visualizar algunas citas (UdA) que conformaron el código *Modificación*. Era de esperarse que los *PFICN* por el hecho de haber cursado y aprobado las asignaturas de química del programa académico de licenciatura, estén en la capacidad de elaborar explicaciones en las que indiquen la *importancia y necesidad del oxígeno* en los reactivos de la reacción química de combustión, sin embargo, el primer hallazgo, que es necesario sustentar, es que en las UdA que hicieron parte de este código, se identificó que no la reconocen y además no incluyen en sus respuestas la importancia de este elemento (*CMo*-14⁴⁰, *CMo*-61 y *CMo*-43). En lo que respecta al reconocimiento de la importancia del *material combustible*, se identificó que al igual que lo plantea Meheut et al., (1985), no es valorada la interacción de esta con el oxígeno (*CMo*-278) ni tampoco se le atribuye una función específica (Meheut et al., 1985; Membiela & Vidal, 2005).

Respecto al *papel del fuego/llama*, en las explicaciones de los *PFICN*, se identificaron únicamente dos UdA en las que explícitamente se referían a esta como la fuente de calor

⁴⁰ Este es el indicador de la unidad de análisis que se puede observar en el Anexo 40.

(CMo-42 y CMo-201), la cual al quitarse se llevaban a cabo cambios físicos como la condensación y evaporación.

En el caso de los *reactivos y productos obtenidos*, el conjunto de las explicaciones estaban fuertemente ligadas a una percepción de la combustión como un cambio de estado de agregación en el que se evaporan y condensan sustancias (CMo-179 y CMo-309), señalaban que los cambios se dan en las características físicas debido al aumento y disminución de la temperatura y no se afecta la organización química de cada una de las sustancias existentes en el interior del instrumento que contenía las sustancias (retorta) (CMo-309). Al confrontar la explicación CMo-179 con el reporte de Meheut et al., (1985), coincidentalmente también se identificó que el producto obtenido fue nombrado con el mismo término con el que se hizo referencia al reactivo. Al comparar algunas explicaciones con el estudio de BouJaoude (1991), se identificó que los productos obtenidos eran asociados con aspectos visibles (polvo negro y copos negros) que eran descritos en la situación problema. Así como en los hallazgos de Watson, Prieto, & Dillon (1997) en las explicaciones se atribuía un papel fundamental al peso de los productos, los PFICN que resolvieron el cuestionario de esta tesis también las reportaron (CMo-251).

Para finalizar, destaco que las preguntas 5 y 8 de las situaciones problema 3 y 4 respectivamente, fueron elaboradas específicamente para la identificación de la *función de la chispa*, sin embargo, en las explicaciones, esta función no fue reconocida ni valorada, en lugar de ello, atribuyeron al agua o al hidrógeno como los precursores de la llama (CMo-44 y CMo-63).

6.3.3.1.1.2. Transmutación (CTr)

La visualización de las UdA del segundo hallazgo están en la Figura 14, allí se incluyeron algunas ideas en las cuales los PFICN mencionaban que al consumirse el *oxígeno* el fuego no se podía iniciar (CTr13 y CTr130), en el caso de las citas CTr-129 y CTr-163 se puede identificar que para algunos si existía una interacción entre el oxígeno y el material combustible, pero este último actuaba como un “succionador” que disminuía la cantidad del primero, estas respuestas conformaron la *Transmutación*.

Debido a que en las explicaciones que fueron elaboradas no encontraron indicios correspondientes a la función de la *chispa*, no se incluye ningún tipo de cita que permita ejemplificar la manera como ellos la utilizaban, sin embargo, respecto al *fuego/llama*, algunas de las explicaciones le asignaban una función preponderante dentro de los reactivos, hasta el punto de hacer explícita su participación (CTr-164 y CTr-306).

La pregunta 1 de la situación problema 1 fue elaborada con el propósito de identificar si los PFICN referenciaban en sus respuestas la interacción entre los *reactivos* y a su vez visualizaban los *productos* que se obtenían en la calcinación del estaño, sin embargo, en las UdA CTr-03 y CTr-197 podemos observar la manera como los PFICN mencionaban al oxígeno y con el icono (+) explicitaban la interacción con el material combustible, sin

embargo, los productos que indicaban no eran consecuentes con el proceso de calcinación del estaño.

Figura 13. Vinculación entre algunas UdA acerca del código Modificación

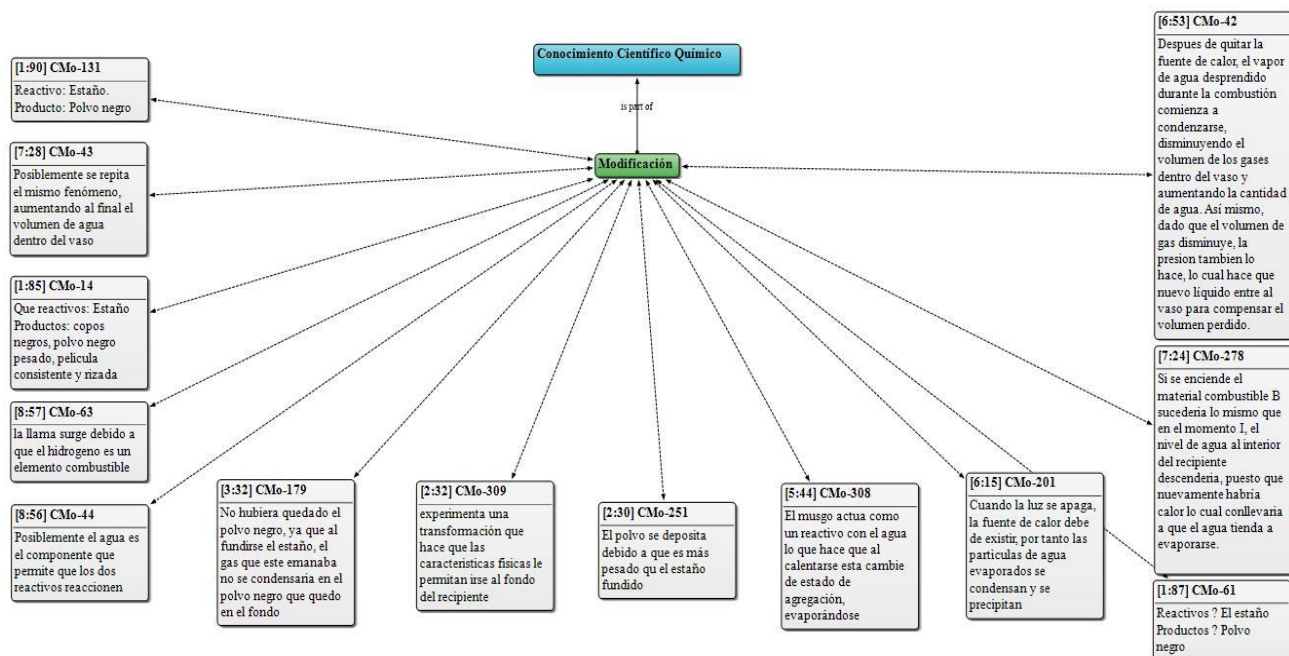
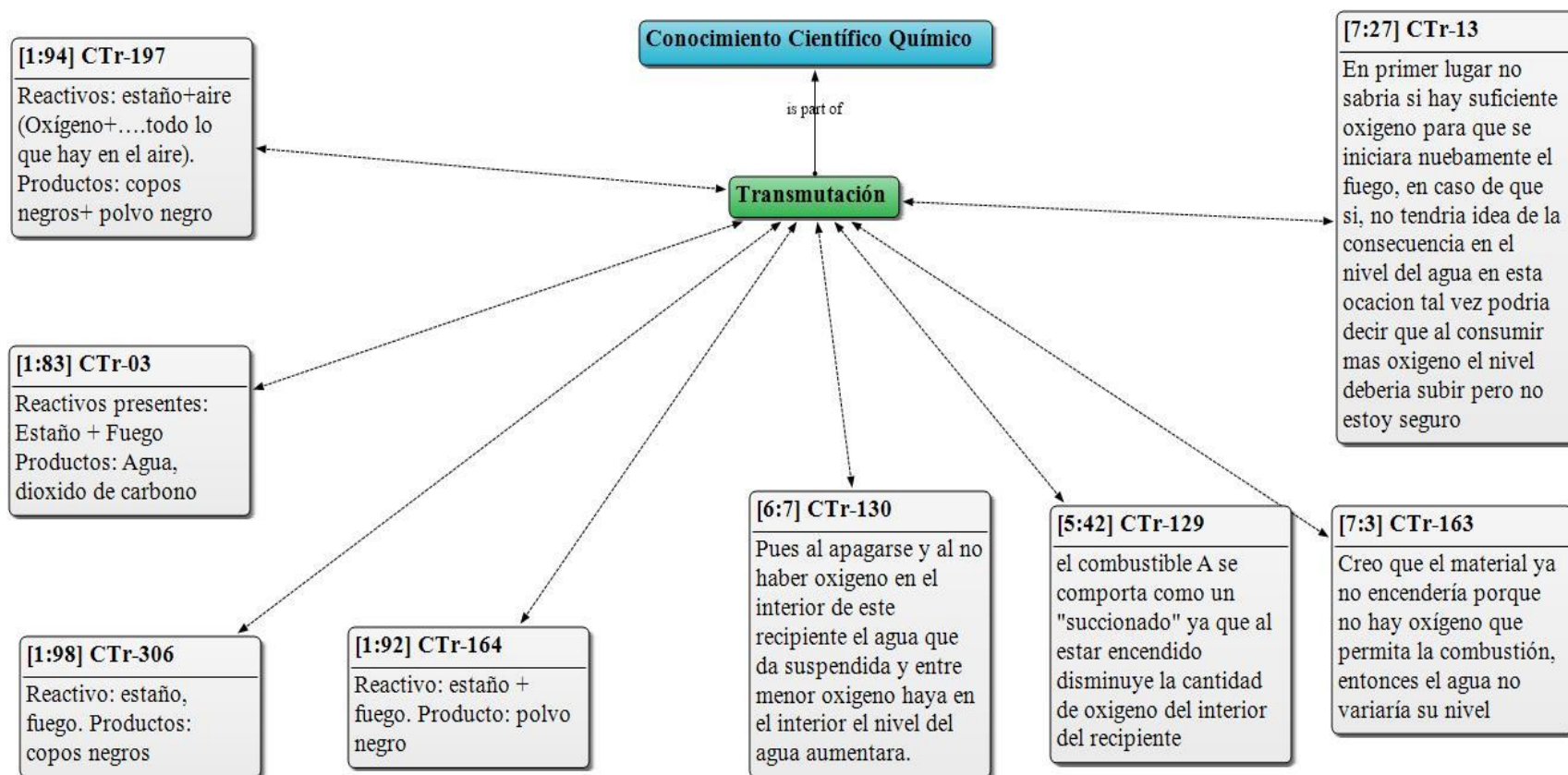


Figura 14. Vinculación entre algunas UdA acerca del código Transmutación



6.3.3.1.1.3. Reacción Química (CRxQ)

Teniendo en cuenta la Figura 15 donde se incluyen algunas de las UdA relacionadas con el código *Reacción Química* se logró sustentar que las explicaciones a las preguntas 2 y 3 de la situación problema 1 permitieron encontrar el tercer hallazgo. El mayor número de veces que fue utilizada y que estuvo focalizado en 3 de los 15 *PFICN* que resolvieron el cuestionario. En el caso de la cita CRxQ-11 se evidenció que lo que ocurría era un rompimiento de enlaces moleculares debido a la absorción de energía por parte del material, esta explicación está en concordancia con el nivel submicroscópico de la química que corresponde al nivel atómico y molecular mediante el cual se explica porque las sustancias químicas e comportan de la manera como lo hacen (Johnstone, 1982, 1993, 2000a, 2000b), sin embargo, en esta misma UdA existe una contradicción ya que no visualizó la calcinación como una transformación sino como una liberación de sustancias, esto se dio posiblemente por dos circunstancias asociadas al lenguaje cotidiano, una dependía del uso que todavía prevalece y está fuertemente arraigado en la estructura conceptual de los *PFICN*, y la otra se debió al lenguaje de los mismos profesores de química que están a cargo de la orientación de las asignaturas.

Es importante resaltar que el hallazgo anterior difiere de lo que encontraron Watson et al., (1997), ya que en las explicaciones que ellos identificaron, los estudiantes no hacían mención de partículas atómicas o moleculares posiblemente debido a que eran aun eran jóvenes y no veían relación entre sus explicaciones y las explicaciones científicas aceptadas en términos de partículas.

Dos de los *PFICN* al elaborar sus explicaciones a la pregunta 8 de la situación problema 4, expresaron que la combustión que allí ocurría era una reacción exotérmica obtenida a partir de la interacción entre los reactivos y el agua así como podemos observar en la cita CRxQ-12.

Para completar el circuito de explicaciones en las que se hace referencia a los *reactivos* y *productos*, destaquemos de las ideas la UdA CRxQ-100 que aunque en ella no se contempla explícitamente los elementos del triángulo el fuego (combustible + oxígeno + temperatura de ignición) (Membiela & Vidal, 2005), implícitamente si se reconoció la importancia de la luz como el activador de la reacción y que su acción sobre los reactivos hace que se convierten en productos y, nuevamente apareció el lenguaje cotidiano (pierden “funcionalidad”) como un elemento clave a la hora de proporcionar explicaciones. En lo que tiene que ver con los reactivos y productos de la calcinación, únicamente un estudiante mencionó al óxido de estaño (CRxQ-85). Aunque su respuesta se acerca a lo que estaba ocurriendo en la situación problema 1, estuvo ausente la función de calor como el precursor de la reacción.

Como respuesta a la pregunta 6 de la situación problema 3, en la UdA CRxQ-60 sólo un participante hizo explícito que uno de ellos era el agua, esto coincidió con lo que Robertson & Shaffer (2014) denominaron la regla específica de la combustión que es ampliamente enseñada en las asignaturas de química universitaria, es más esta regla esta tan arraigada en su estructura conceptual que también la utilizan para predecir los productos de la calcinación (CTr-03). Este panorama reflejó que en la enseñanza de la química sino no se hacen las

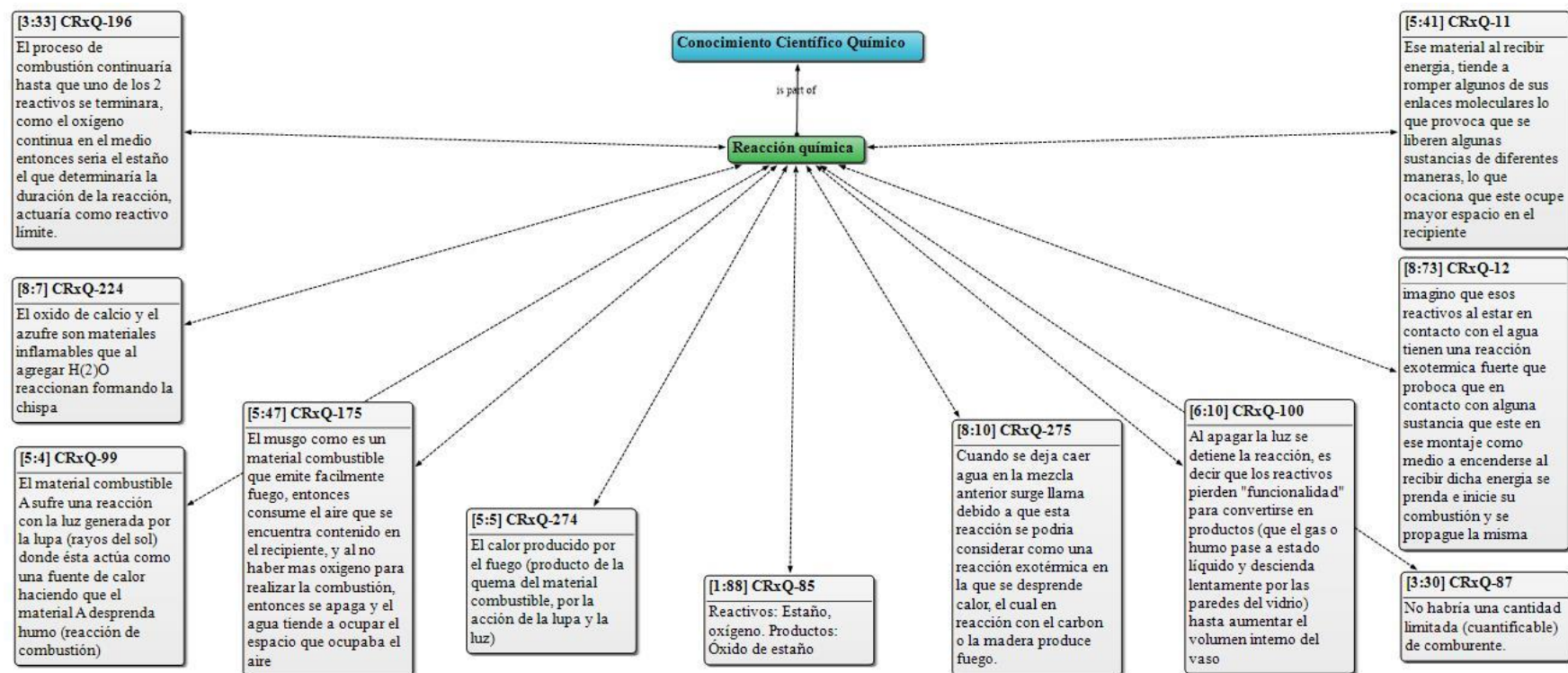
pertinentes aclaraciones o excepciones, la tendencia de los estudiantes es generalizar cualquier tipo de regla que se esté enseñando, lo mismo ocurre con la devaluada y desprestigiada regla del octeto pero que fue significativamente relevante para la historia de la química (Jensen, 1984; Kohler, 1974; Langmuir, 1919; Linnett, 1961; Urbina, Gallego, Pérez, & Gallego, 2008).

En otras explicaciones inherentes a este código, también se encontró que algunos *PFICN* sí incluyeron al *oxígeno* en los reactivos (CRxQ-175), además, algunos *PFICN* utilizaron el término químico comburente para denotarlo (CRxQ-87) e incorporaron el término químico reactivo límite para destacar su importancia en la reacción (CRxQ-196), esto coincide con lo que expresan Robertson & Shaffer (2014, p. 764) cuando dicen que “así como se ha hallado en investigaciones previas sobre las descripciones de los jóvenes en edad escolar, también los adultos a menudo establecen que el oxígeno es usado o es necesario para la combustión”.

De una de las explicaciones (CRxQ-274) a la pregunta 5 de la situación problema 3 se logró inferir que es indudable que para este estudiante el fuego era una evidencia de la reacción que le está ocurriendo al material combustible cuando era sometido a la acción de la luz por medio del uso de la lupa. Continuando con este tipo de explicaciones, identificamos una (CRxQ-275) con la que se daba respuesta a la pregunta 8 de la situación problema 4 donde nuevamente se pudo comprobar que la llama derivó de la interacción entre la mezcla de reactivos (óxido de calcio+azufre) con el agua.

En último lugar, destaquemos dos explicaciones en las que se reconoció la importancia de la *chispa* en la reacción química de la combustión (CRxQ-99 y CRxQ-224). La conceptualización de la CRxQ-99 permitió expresar que reconoció la necesidad de la chispa, en palabras del estudiante sería la “luz generada por la lupa (rayos del sol) donde esta actúa como fuente de calor”, sin embargo, la lectura minuciosa nos lleva a decir que la consideró como un elemento ya que podía reaccionar con el material combustible que se utilizó en la situación problema 3. Por otra parte la interpretación de la CRxQ-224 era una evidencia precisa de la comprensión de la función de la chispa, ya que manifestó enfáticamente que los materiales combustibles (óxido de calcio y azufre) reaccionaban con el agua para formar la chispa.

Figura 15. Vinculación entre algunas citas (unidades de análisis) acerca del código Reacción Química



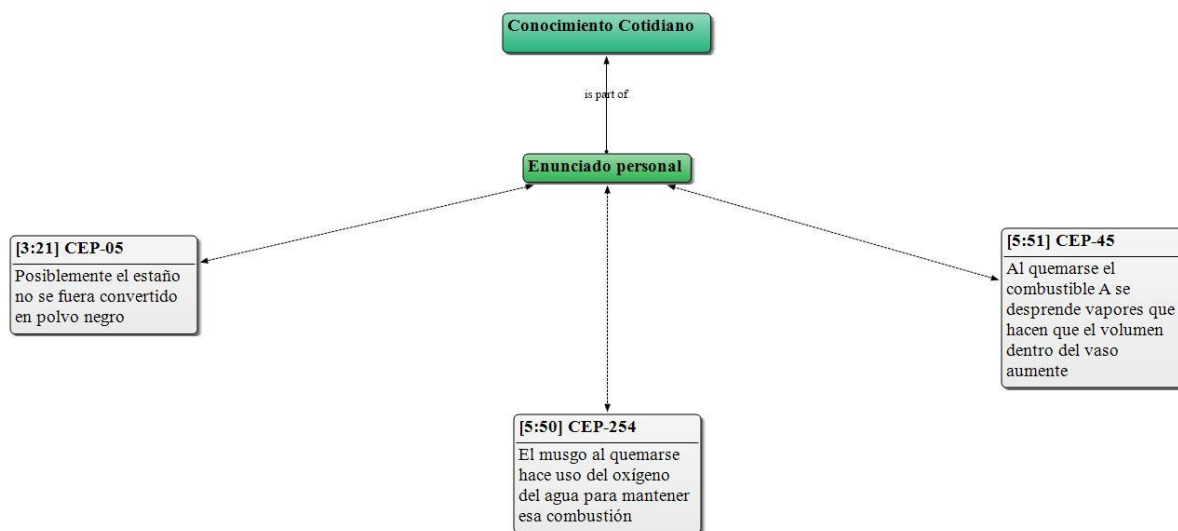
6.3.3.1.2. Ideas de los *PFICN* acerca de la subcategoría Conocimiento Cotidiano

6.3.3.1.2.1. Enunciado Personal (CEP)

Continuando con la interpretación, dirijamos nuestra atención ahora a la Figura 16 en donde justificó algunas de las explicaciones referentes al Conocimiento Cotidiano y específicamente a lo que corresponde al *CEP*, estos resultados que se presentan fueron interesantes porque coincidieron con los hallazgos de investigaciones previas en la cuales se manifestaba que sus explicaciones diferían de lo que la comunidad científica aceptaba (BouJaoude, 1991), es decir, usaron una serie de términos cotidianos mediante los cuales se atribuyeron capacidades vitalistas (convertido en CEP-05, desprende en CEP-45, mantener en CEP-245).

Sin lugar a dudas el conocimiento cotidiano y la manera como era presentado en las explicaciones por los *PFICN*, debe valorarse y tomarse como un insumo para diseñar y ejecutar propuestas programáticas alternas de enseñanza de la química, recordemos que este tipo de conocimiento es el punto de partida en el que se encontrarán los intereses y necesidades de los sujetos que se encuentran en nuestras clases.

Figura 16. Vinculación entre algunas citas (unidades de análisis) acerca del código Enunciado Personal



La interpretación y conceptualización de los aspectos concernientes al conocimiento científico químico permitieron sustentar que aunque en las diferentes situaciones problema se mencionaban sustancias orgánicas e inorgánicas, no se logró identificar en las explicaciones de los participantes alguna representación correspondiente a la reversibilidad e irreversibilidad de las reacciones, por otra parte, este tipo de situaciones si fueron significativas porque para algunos de ellos les implicó esforzarse para elaborar explicaciones en las que los agentes externos influyen el cambio de las sustancias, además, este esfuerzo

por construir explicaciones sirvió para poner en juego el conocimiento científico químico que han logrado comprender y que preexiste en su estructura conceptual (Andersson, 1990).

Por otra parte, estamos de acuerdo con Watson et al., (1997) cuando dijo que la coexistencia de modelos o lo que se ha denominado aquí como la hibridación de explicaciones de los *PFICN* (*CMo*, *CTr* y *cRxQ*), era una evidencia de las limitaciones que ellos tienen en la capacidad de procesamiento cognitivo, sin embargo, esto no significa que ellos no tienen el conocimiento científico químico que les permitirá elaborar explicaciones que estén en el marco de lo que en la actualidad está validado por los colectivos profesionales tanto de los químicos como de los licenciados, que en definitiva será el grupo que integran en el futuro. Lo que demostró estos resultados fue que es necesario establecer acciones en la enseñanza de la química que les permita poner en juego lo que saben en pro de lograr que ellos sustenten, defiendan y socialicen sus explicaciones, de lo contrario, las medidas que implementarán quedan reducidas simplemente a continuar con la dictadura que tradicionalmente se realiza en las clases de química. De acuerdo a lo anterior, es necesario destacar la importancia y la necesidad de promover, proyectar y orientar los diferentes procesos de enseñanza de las ciencias naturales y especialmente de la química a través de un *enfoque de construcción de significados*⁴¹.

Entre las diversas conexiones existentes con los reportes de las investigaciones previas en las que sustentan que la comprensión de la combustión es fragmentado, inconsistente y difiere del significado científico (Jong et al., 1999). Esta fragmentación la mayoría de las veces es producto de la sobre carga de contenido y de la descripción inadecuada de la naturaleza de la ciencia en los materiales curriculares como los libros de texto universitario (Boo & Toh, 1998; Caamaño, 2007; De Pro Bueno, 2007; Fumagalli, 2001; Talanquer, 2014).

Se tiene entonces que reconocer y valorar que la construcción de significados acerca del conocimiento científico químico por parte de los *PFICN* debe estar asociado a la aplicabilidad de los conceptos y términos químicos que se enseñen en las clases de química, estas clases deben orientarse hacia el estudio y comprensión de hechos científicos no de manera aislada sino de forma conexas. Es pertinente resaltar que para el campo de la educación en ciencias es importante reconocer y valorar que en todos los *PFICN* existe un conocimiento preexistente (conocimiento cotidiano) y que en la medida que se use frecuentemente los términos que lo componen, las explicaciones elaboradas estarán determinadas por este (Boo & Toh, 1998).

6.3.3.2. Ideas de los *PFICN* acerca de la categoría Experiencia

Recordemos que esta categoría corresponde a las acciones afines con la parte experimental que los *PFICN* transmitían por medio de sus escritos. En ellas se identificaron las explicaciones que elaboraban para responder a las preguntas de las situaciones problema del

⁴¹ Este enfoque ya fue sustentado en el apartado 4.1.

cuestionario. Al remitirnos a la información consignada en la Tabla 8, la subcategoría Descripción Experimental estuvo conformada por los códigos *Énfasis en el procedimiento experimental* (EDE2) y *Reconstrucción corta de la experiencia* (EDE1), la subcategoría Uso instrumental incorporó los códigos *Incluye instrumentos en sus experiencias* (EUI1) y *Describe el funcionamiento de instrumentos* (EUI2), mientras que la subcategoría Imaginativa incluyó el código *Imagina lo que ocurre en un experimento* (EI). Entremos en detalles.

6.3.3.2.1. Ideas de los PFICN acerca de la subcategoría Descripción experimental

6.3.3.2.1.1.Reconstrucción corta de la experiencia (EDE1)

En la Figura 17 se puede observar que el código EDE1 hace referencia a la recuperación de algunos aspectos que los PFICN destacaban de las situaciones problema. Es así como en EDE1-56 para que no se salga ni el estaño ni el aire, en EDE1-194 para que se realice la combustión y en EDE1-320 el cambio gradual y la separación del material en sus componentes, la acción que destacan es “cerrar el extremo de la retorta”. Mientras que en EDE1-272 el papel fundamental se lo asignaron al material combustible (musgo) ya que es de este donde se libera el hidrogeno y el oxígeno. En estas explicaciones existían una serie de problemas conceptuales, por ejemplo en EDE1-56 describe que el estaño al igual que el aire podría salir en forma de “vapor”, situación que no es apropiado porque está concibiendo la combustión como un cambio de estado y no como una reacción química en el cual hay transformación del metal. En EDE1-272 lo inapropiado fue concebir que el hidrógeno y el oxígeno forman agua después de terminada la combustión.

La interpretación de lo anterior permitió justificar en la formación de los futuros profesores la importancia de iniciar con procesos de reconstrucciones de las experiencias en las cuales el papel de la escritura será fundamental porque le permitirá a ellos interactuar constantemente con los conocimientos que han elaborado, además, servirá para “oxigenar” sus estructuras conceptuales ya que deberán examinar, reflexionar y socializar las ideas que conforman sus explicaciones (Sanmartí, 2007), posteriormente se debe avanzar hacia la elaboración de narrativas experimentales, como lo sugieren Izquierdo (2004), Millar & Osborne (1998), Osborne (2007) y Cabrera (2015) este tipo de estrategias le permitirá a los futuros profesores recoger y reflejar la estructura fundamental de los modelos científicos y los elementos de los experimentos, esto sería una nueva problemática de investigación que se deja planteada para próximos estudios.

6.3.3.2.1.2.Énfasis en el procedimiento experimental (EDE2)

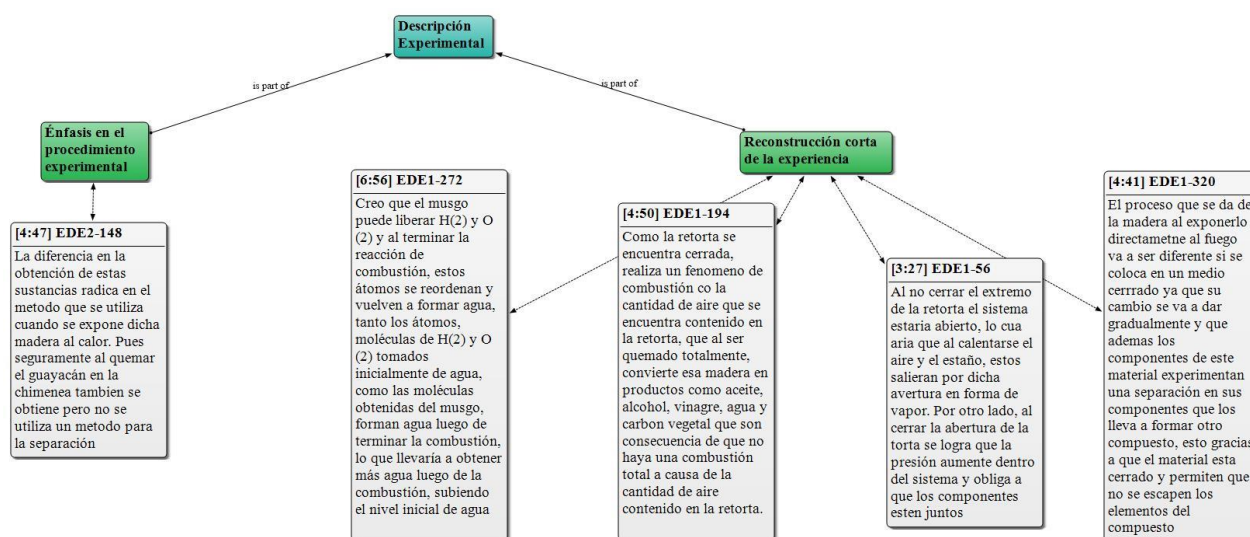
En la Figura 17 la única cita que se identificó para este código fue la EDE2-148 y la elaboró el participante 2011CEL10. La interpretación de esta permitió indicar que lo importante a la hora de realizar el experimento, la combustión del guayacán tanto en un sistema abierto como

en uno cerrado permitió la obtención de las mismas sustancias pero lo único en lo que se diferencian es en el “método” que se utilizó para hacerlo.

Un aspecto importante que se puede conceptualizar a partir de este hallazgo, es que durante la formación de los *PFICN* existe escaso énfasis en el análisis de los procedimientos experimentales y lo poco que se realiza esta direccionado hacia el desarrollo de habilidades manipulativas, la reproducción de las etapas o pasos de las guías de laboratorio por eso es importante diversificar los experimentos y sobre todo cuestionar, reflexionar y socializar alrededor de estos y de otras actividades prácticas que pueden incorporarse en la enseñanza de la química, es aquí donde adquiere relevancia llevar a cabo experimentos mediante los cuales los estudiantes tengan la capacidad de formular preguntas problematizadoras que les exija nuevos retos y la realización de otras acciones experimentales para proponer y comprobar soluciones (Hodson, 1993, 1994; Jong, 1998b; Lazarowitz & Tamir, 1994).

Una manera de alcanzar lo anterior es lograr la articulación entre la teoría y la experimentación con el propósito de evadir una tendencia netamente centrada en la teoría o una tendencia completamente empirista basada en el experimento, es decir, debe existir una relación entre ambas y su uso debe realizarse de acuerdo a las necesidades e intereses de aquellos profesores en formación que integran los diferentes cursos de química, al respecto dice Furió, Valdés, & González de la Barrera (2005) que esta sincronización es un requisito necesario para que los futuros profesores adquieran habilidades como “el análisis de situaciones problemáticas y el planteamiento de problemas precisados, la emisión de hipótesis, la elaboración de estrategias que orienten su solución o la realización de diseños experimentales que permitan poner a prueba las hipótesis emitidas”.

Figura 17. Interacción entre algunas UdA acerca de los códigos Reconstrucción corta de la experiencia y Énfasis en el procedimiento experimental



6.3.3.2.2. Ideas de los *PFICN* acerca de la subcategoría Uso instrumental

6.3.3.2.2.1. Incluye instrumentos en sus experiencias (EUI1)

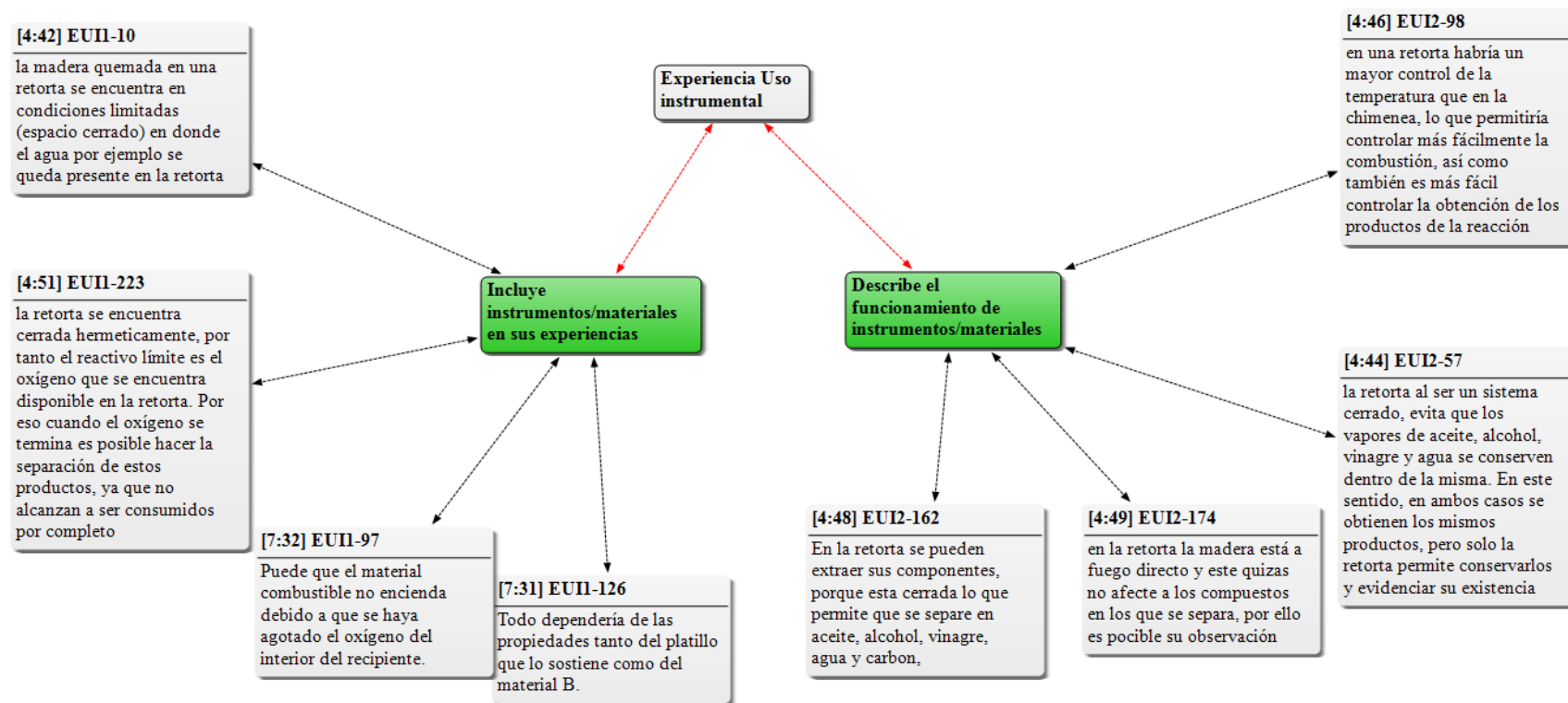
La información incorporada en la Figura 18 nos permite esgrimir algunas ideas importantes respecto a la manera como los *PFICN* en las diferentes explicaciones a las preguntas de las situaciones problema incluyen instrumentos o materiales pero sin elaborar ninguna profundización en la función que estos desempeñan. Respecto a la inclusión de materiales en la UdA EUI1-10 se mencionó la “madera”, las UdA EUI1-97 y EUI1-126 sólo señalaban al término “material combustible” y “material B2” respectivamente y las UdA EUI1-97 y EUI1-223 incluyeron al “oxígeno”. En conexión con los instrumentos, en las UdA EUI1-10 y EUI1-223 la “retorta” era citada, en la EUI1-97 sólo hacían referencia al “recipiente” y en la UdA EUI1-126 indicaron al “platillo” y aunque se mencionó la importancia de sus “propiedades” no avanzan hacia su descripción.

6.3.3.2.2.2. Describe el funcionamiento de instrumentos (EUI2)

Continuando con la interpretación de esta categoría, las UdA que se referencian a continuación y que se pueden observar en la Figura 18 permiten indicar que en la EUI2-57 el funcionamiento de la retorta radica en que al conformar un “sistema cerrado” permitía conservar y evidenciar la existencia de los productos que se obtienen a través de la combustión de la madera, en el caso de EUI2-98 también el funcionamiento de un instrumento como la retorta radica en controlar la temperatura, la combustión y la obtención de los productos de esta reacción y, en la UdA EUI2-174 la retorta posibilitó la observación de los compuestos producidos en la combustión.

La interpretación de lo anterior desde los planteamientos de Pickering (1989) permiten justificar la necesidad de que los futuros profesores a partir de la socialización y dialogo que se realice al interior de las clases de química logren construir el conocimiento que esta inherente a cada uno de los instrumentos y los materiales que se utilizan en las diferentes situaciones problemáticas que acompañan la experimentación. En la medida que esto se alcance, existirá la posibilidad de incorporar instrumentos y materiales alternativos que desde una perspectiva de la recontextualización significa que podrán visualizar experimentos históricos desde los planteamientos y objetos que existen en la actualidad, recordemos que lo que importa dentro de esta tesis y que se ha sustentado en todo momento es que se debe estudiar y socializar en torno al fenómeno científico que subyace de la experimentación.

Figura 18. Interacción entre algunas UdA acerca de los códigos Incluye instrumentos/materiales en sus experiencias y Describe el funcionamiento de instrumentos/materiales



6.3.3.2.3. Ideas de los *PFICN* acerca de la subcategoría Experiencias Imaginativas

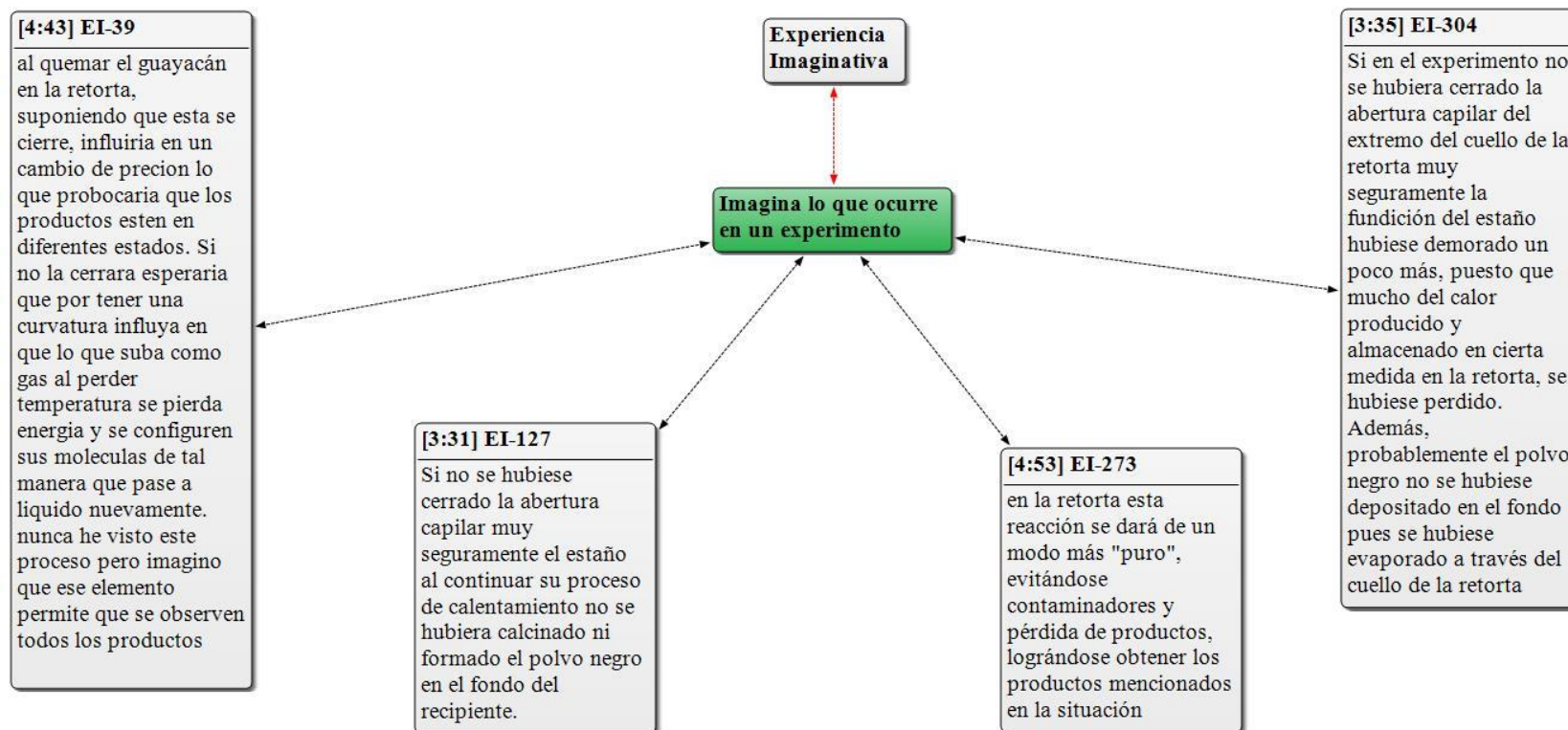
6.3.3.2.3.1. Imagina lo que ocurre en un experimento (EI)

Para cerrar lo correspondiente a la categoría experiencia, podemos observar en la Figura 19 que en este código las citas se caracterizan por utilizar explícitamente términos como “imagino”, “suponiendo”, “seguramente” y “probablemente”, por ejemplo, en EI-39 existía la suposición de que la retorta al cerrarse “influiría en un cambio de presión que provocaría que los productos estén en diferentes estados” pero en caso que no se cierre se “esperaría que por tener una curvatura influya en que lo que suba como gas al perder temperatura se pierda energía y se configuren sus moléculas de tal manera que pase a líquido nuevamente”. En EI-127 y en EI-304 la hipótesis que suscitó de estas UdA es que al no cerrar la abertura de la retorta el estaño seguramente “no se hubiera calcinado ni formado el polvo negro...” y “la fundición del estaño hubiese demorado un poco más”.

En las UdA EI-39 y EI-304 las explicaciones se alejaron de la conceptualización de la calcinación como una reacción y nuevamente siguió prevaleciendo el imaginario que la calcinación es un cambio de estado y no un cambio químico, además, se identificó que la mayoría de los estudiantes no reconocía la función del oxígeno en la calcinación.

La información que se logró recopilar podría considerarse como el inicio o preámbulo de la elaboración de experimentos mentales la cual es una estrategia que frecuentemente se utiliza para visualizar lo que está ocurriendo o lo que posiblemente podría ocurrir, además, pueden servir para predecir y generar nuevos escenarios en los cuales puedan observar diversos comportamientos de los materiales e instrumentos que utilizan en los experimentos, sin lugar a dudas esto adquiere relevancia en la medida que les permita construir y producir conocimiento (Reiner & Gilbert, 2000; Stephens & Clement, 2012). Nuevamente este panorama abre un nuevo camino para continuar investigando y profundizando sobre todo en lo que respecta a la producción de experimentos mentales en los futuros profesores de ciencias naturales.

Figura 19. Vinculación entre algunas UdA acerca del código Imagina lo que ocurre en un experimento



6.3.3.3. Ideas de los PFICN acerca de la categoría Lenguaje

Antes de iniciar la conceptualización primero remitámonos a la información consignada en la Tabla 8, en ella se logró identificar que en esta categoría emergieron las subcategorías Lenguaje Verbal conformada por el código *Término químico (LV)*; Lenguaje Gráfico que incluía el código *Icono* y que a su vez hacía referencia al uso de corchetes, signos de carga, fórmulas de especies químicas (*LG*); Lenguaje De fórmulas que incorporó los códigos *Ecuación química (LF1)* y *Símbolo químico (LF2)*; y finalmente Lenguaje Cotidiano que contenía el código *Término cotidiano (LC)*. Entremos en los detalles de la interpretación y conceptualización de los datos identificados.

Las dos categorías que previamente fueron analizadas se relacionan coherentemente a través de esta tercera categoría denominada lenguaje. Si se parte del establecimiento de esta relación, es de esperarse que los *PFICN*, en la medida que expliciten sus ideas estas deben servir de insumo para identificar si existe la articulación o fragmentación entre ellas. Con lo que se ha sustentado hasta el momento, se logró identificar una desarticulación moderada en la manera como hacían uso del lenguaje químico. Como analizaremos a continuación esto se identificó específicamente en la medida en que las ideas que hacen parte de las categorías conocimiento y experiencia hacían uso de términos químicos que en algunas ocasiones no coinciden con lo que están intentado explicar o por el contrario utilizan términos cotidianos en ideas que respondían adecuadamente las preguntas de las situaciones problema.

6.3.3.3.1. Ideas de los *PFICN* acerca de la subcategoría Lenguaje Verbal

6.3.3.3.1.1. Término químico (LV)

Como se indicó en el marco teórico los términos químicos son unidades dinámicas que adoptan un sentido único y especializado, utilizadas para “rotular” el mundo y posibilitan la comunicación entre los integrantes de un colectivo. En este sentido los *PFICN* cuando asisten a las clases de química, adquieren diferentes términos químicos, sin embargo, su comprensión, uso y aplicación puede tornarse fragmentada ya que no fueron construidos en el marco de la práctica escrita ni dialogada ni en contextos como las propias clases que orientarán como profesionales, sino que se da a partir de la memorización de las definiciones que no tienen sentido ni son significativas para su formación.

Los principales términos químicos que se identificaron aparecen en la Figura 20, por ejemplo, algunas las ideas de los *PFICN* incluían al oxígeno (LV-90), estaño (LV-17), óxido de estaño (LV-91) pero no lo clasificaban ni como átomo (LV-256), elemento (LV-266), sustancias (LV-138), compuesto (LV-295) o molécula (LV-25), únicamente los participantes 2010CEL04, 2012CEL20 y 2012CEL21 categorizaron el hidrogeno (LV-75), calcio (LV-265) y azufre (LV-267) como elementos y al óxido de calcio (LV-293) como un compuesto.

Sólo el participante 2012CEL20 hizo mención a los átomos para referirse a aquellos que “componen el agua”. Este panorama en el que no se logra establecer diferenciación entre átomo, elemento y compuesto se debe a que no existe una profundización que les permita a los *PFICN* establecer distinciones, como señala Alzate (2005) aunque estos términos químicos son centrales en la química, su enseñanza y aprendizaje es problemática debido a la manera superficial y simplista como son abordados, además, se desconocen las diferencias y relaciones entre ellos y el mundo real; así mismo las ideas en las que ellos utilizan estos términos químicos se alejan de la esencia del sistema periódico de Mendeléiev, de la concepción de elemento de Dalton y de los progresos posteriores del siglo XX. En esta misma dirección Linares (2005) indicó que históricamente ha existido una confusión y una diversidad de definiciones de elemento químico y sustancia simple que lamentablemente siguen siendo utilizadas indiscriminadamente por los profesores y textos de química.

En la pregunta 1 de la situación problema 1 se identificó que el participante 2012CEL19 para referirse al producto (polvo negro) que se depositaba en el fondo del recipiente utilizaba el término químico cambio físico (LV-234) debido a la densidad (LV-65), a los pesos moleculares (LV-205) o la presión (LV-71) a la que era sometido el estaño. El participante 2012CEL14 al expresar su idea para responder la pregunta 2 de esta misma situación problema, asumía que el estaño cuando era sometido a temperaturas altas cambiaba de estado (LV-155), de igual manera, el participante 2012CEL23 decía que lo que acontecía era que el agua cambiaba de estado de agregación (LV-314) y por ello se evaporaba (LV-136), en este mismo sentido los términos químicos condensación (indicado por los participantes 2012CEL23, 2012CEL18, 2012CEL17), precipitación (incorporado por los participantes 2011CEL08, 2012CEL21) y ebullición (mencionado por el participante 2012CEL21) se consideran una evidencia contundente para sustentar que el conocimiento químico que adquirieron, no les permite diferenciar que la calcinación y la combustión corresponden a una reacción química, en la cual inician unos reactivos y se obtienen una serie de productos, tal es la poca comprensión de esta reacción que las asumen como una fusión (LV-182) o una fundición (LV-104).

De los hallazgos anteriores es pertinente destacar que algunos de los *PFICN* hacen alusión a la calcinación y la combustión como un cambio físico, otros prefirieron denominarlos un cambio de estado o un cambio de estado de agregación. Esto confluye con ciertos resultados de investigaciones anteriores, por ejemplo, Meheut et al., (1985), BouJaoude (1991) y Kind (2004) señalaron que una de las dificultades existentes es que algunos de los estudiantes no distinguen de manera consistente entre un cambio químico y un cambio de estado y otros asocian estos procesos con la fusión (Meheut et al., 1985).

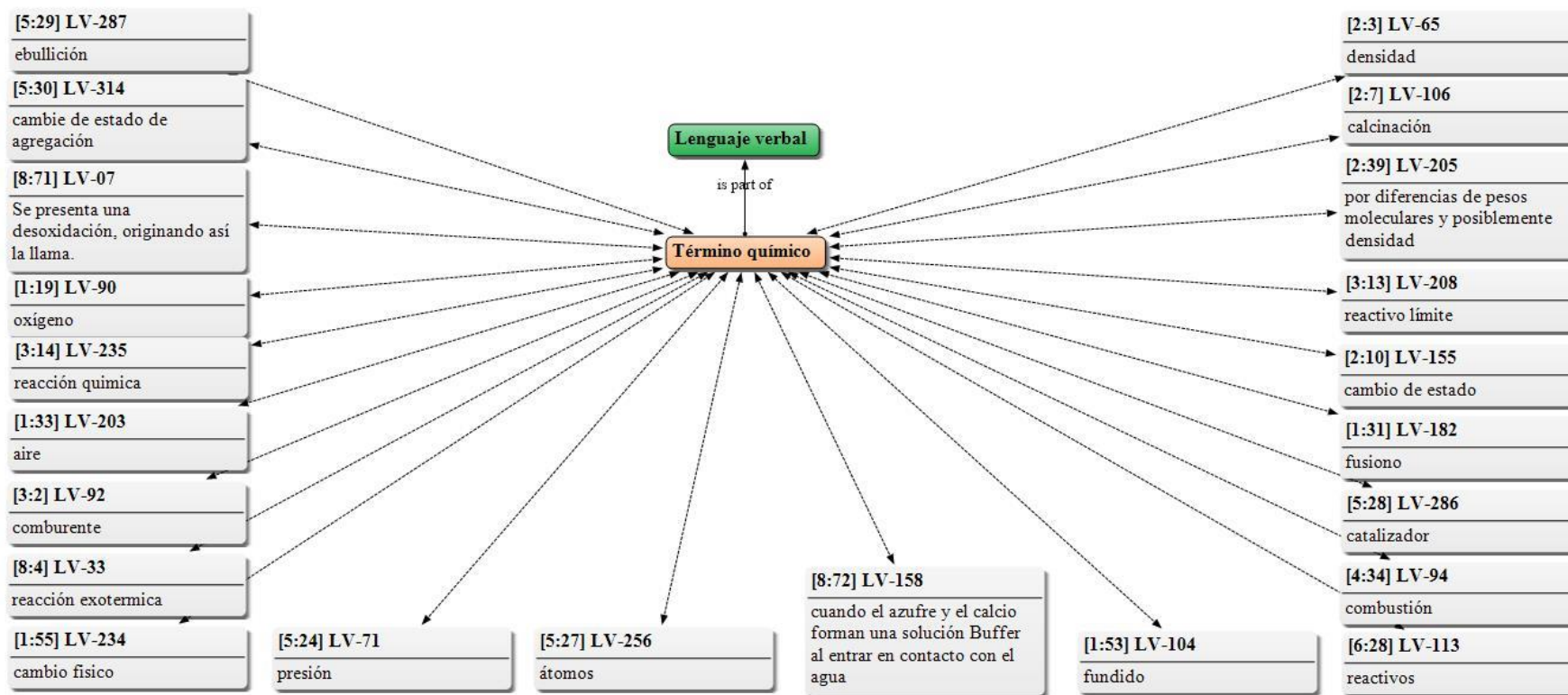
Las ideas asociadas a cambio de estado pueden explicarse porque únicamente consideraron los procesos macroscópicos que observan a simple vista y no tuvieron en cuenta las interacciones atómico moleculares, y mucho menos energéticas, además porque el conocimiento adquirido sobre el modelo de partículas que forman la materia fue de manera superficial y dificulta la interpretación, organización y descripción de las reacciones químicas, por ello los *PFICN* deben aprender a diferenciar procesos de combustión del de calentamiento y cambio de estado ya que la información que han recibido sólo ha servido

para teorizar pero la experimentación y observación de los fenómenos no ha sido rigurosa y no se les permite comparar dichos procesos (Ariza & Parga, 2011; Prieto, 1996).

A diferencia de los resultados anteriores, el participante 2011CEL08 consideró que lo que le ocurría al estaño era una calcinación (LV-106), otros asumían que el Aire (LV-203) o el oxígeno (LV-90) cumplían la función de comburente (LV-92), a su vez los participantes 2010CEL02, 2010CEL03, 2010CEL04, 2012CEL20 utilizaban el termino químico combustión (LV-94) para explicar lo que le ocurría a la madera, otros participantes (2011CEL08, 2012CEL18, 2010CEL02, 2012CEL14 y 2012CEL19) indicaban términos químicos como reactivos (LV-113), reactivo límite (LV-208), reacción química (LV-235) y reacción exotérmica (LV-33) respectivamente. El participante 2010CEL02 fue más allá del nivel macroscópico y mencionaba que debido a los enlaces moleculares (LV-28) era que ocurría la combustión. Esto también coincide con lo interpretado por De Echave Sanz et al., (2010) cuando identificaron en su estudio que en las explicaciones de los estudiantes predominaban términos químicos como “transferencia de electrones”, “reactivos”, “productos”, “transformación química”, “combustible y comburente”, “reacciones redox”.

En las explicaciones se identifican en varias ocasiones el uso de palabras como desoxidación, y solución buffer, sin embargo, la comprensión que tienen de estas no corresponde con las reacciones que están ocurriendo en el experimento, por ejemplo en el caso de la desoxidación se refiere al proceso al que es sometido el acero o el hierro para que no se oxide y la solución buffer hace parte de una reacción que equilibra los ácidos y las bases.

Figura 20. Uda acerca del código Término químico



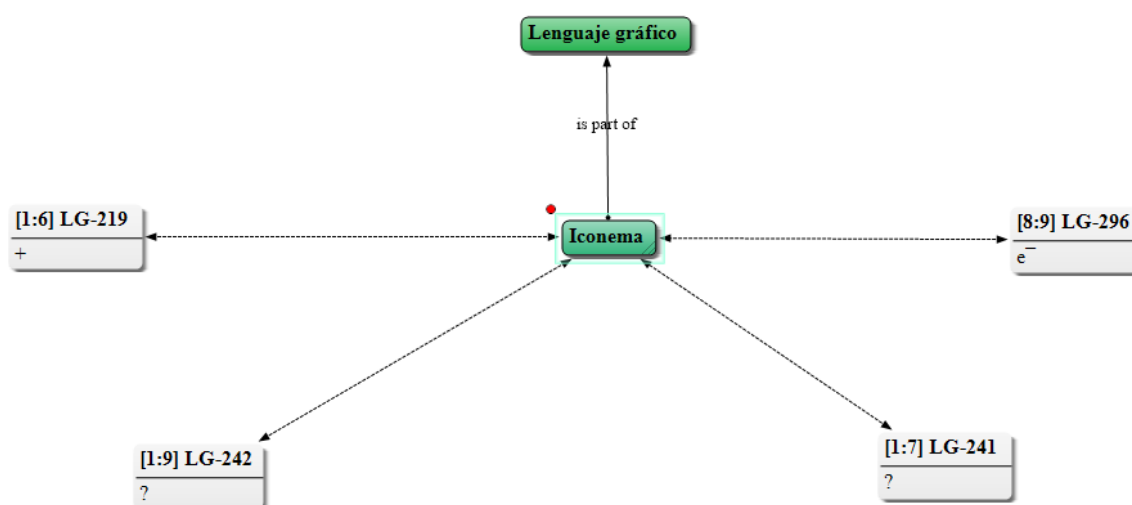
6.3.3.3.2. Ideas de los *PFICN* acerca de la subcategoría Lenguaje Gráfico

6.3.3.3.2.1. Iconemas químicos (LG)

En las ideas que algunos de los *PFICN* elaboraban para dar respuesta a las preguntas de las situaciones problema, así como podemos observar en la Figura 21, fue significativo identificar que para el caso de los iconemas químicos LG-219 y LG-296, el uso del primero estuvo directamente relacionado con la representación de la interacción que podía ocurrir entre los reactivos, por ejemplo, “Reactivos presentes: Estaño + Fuego Productos: Agua, dióxido de carbono” (CTr-03), mientras que el segundo, fue utilizado por el participante 2012CEL21 para hacer referencia a la transferencia de electrones que se daría entre el azufre y el calcio.

Si observamos esta cita “Estaño $\Delta \rightarrow$ Estaño fundido $\rightarrow$ Estaño solidificado $\rightarrow$ cambio físico” (CMo-226), podemos destacar los iconemas químicos Δ (LG-241) y $\rightarrow$ (LG-242), el primero representaba la acción del calor en la calcinación mientras que el segundo hacía referencia al sentido u orientación de la reacción. Mostrar que la calcinación se da en un sólo sentido significa que para el participante 2012CEL19 la reacción era irreversible y que no se podían recuperar los reactivos que participaban, este hallazgo coincide con la idea frecuente que tanto los libros de texto como los profesores en el momento de enseñar no permiten diferenciar o ejemplificar diversas reacciones químicas tanto reversibles como irreversibles, es más, los escasos experimentos que se realizan no permiten interpretar este dinamismo de las reacciones (Caruso et al., 1998; Nieto, Garritz, & Reyes, 2007; Raviolo, Garritz, & Sosa, 2011).

Figura 21. Vinculación entre algunas citas (unidades de análisis) acerca del código Iconema químico



6.3.3.3.3. Ideas de los *PFICN* acerca de la subcategoría Lenguaje De Fórmulas

6.3.3.3.3.1. Ecuación química (LF1)

En los procesos de enseñanza de la química normalmente se llevan a cabo el uso frecuente de ecuaciones químicas para representar las diferentes reacciones que ocurren, el espectro es tan amplio que el contenido que se incluye en los libros de texto universitario de química está saturado de estas, es más, cuando se indaga sobre la información que estos tienen sobre combustión, lo único que se identifica es su ecuación y se desconocen elementos sobre su importancia histórica, no se incorporan aspectos experimentales que les permita a los estudiantes comprender este fenómeno (Cabrera, 2012a).

De acuerdo a esto, era de esperarse que la mayoría de los *PFICN* que resolvieron el cuestionario incorporarán algún tipo de ecuación, sin embargo, lo que se logró identificar fue que únicamente los participantes 2011CEL08, 2012CEL19 y 2012CEL23 las utilizaron (ver Imagen 10). Para el participante 2011CEL08 la ecuación química a la que acudió tenía el propósito de representar una reacción química en la que se reflejara la descomposición de la madera en sus diferentes componentes como el aceite, alcohol, vinagre, agua y carbón vegetal cuando estaba en un sistema cerrado como la retorta.

En el caso del participante 2012CEL19 en la ecuación química a la que aludió se identificó que si consideró que en un proceso de la calcinación como el del estaño existía la reversibilidad en la reacción y ello lo representó a través de las dos flechas que están en ambos sentidos, además tiene claridad de la interacción de los reactivos (estaño y el oxígeno), aunque hacía referencia a los productos, en este sólo se limitó a escribir “Estaño reacciona con el oxígeno” y no indicó que lo que se obtenía era óxido de estaño. La interpretación que se puede hacer de estos datos es que la comprensión de la calcinación por parte del participante es limitada y sobre todo no existe un significado claro sobre los tipos de reacción química existente, tampoco incluía los símbolos químicos de los elementos, ni su estado, no existía un balanceo de la ecuación química, en este sentido se podría decir que no incorporó aspectos de la nomenclatura química para representar esta ecuación.

A diferencia de los dos participantes anteriores, el participante 2012CEL23 no representó correctamente la ecuación química, ya que sólo hacía alusión a cantidades de la cal y el azufre, no incluyó ningún símbolo químico de los elementos y compuestos ni sus estados, además, era una representación incorrecta porque le faltó indicar los productos que se obtenían y no existía un balanceo de la ecuación química.

Los hallazgos anteriores permitieron expresar que estos participantes aunque hacían uso de ecuaciones químicas, sólo utilizaban algunas de las reglas estequiometrias que sirven para balancearlas, una de las posibles razones para que se dé esto es que existe un exceso de ejercicios en los que únicamente ellos mecánicamente los resuelven pero no se hacen ninguna conceptualización y comprensión de los mismos, por ello, la construcción de significados no se ve favorecida; como alternativa se espera que las actividades que se diseñen tengan

problemas variados que se conviertan en un desafío y no en un obstáculo (Galagovsky, Bekerman, Di Giacomo, & Alí, 2014; Galagovsky & Bekerman, 2009; Galagovsky & Giudice, 2015)

Imagen 10. Ejemplos de Uda del código Ecuación química

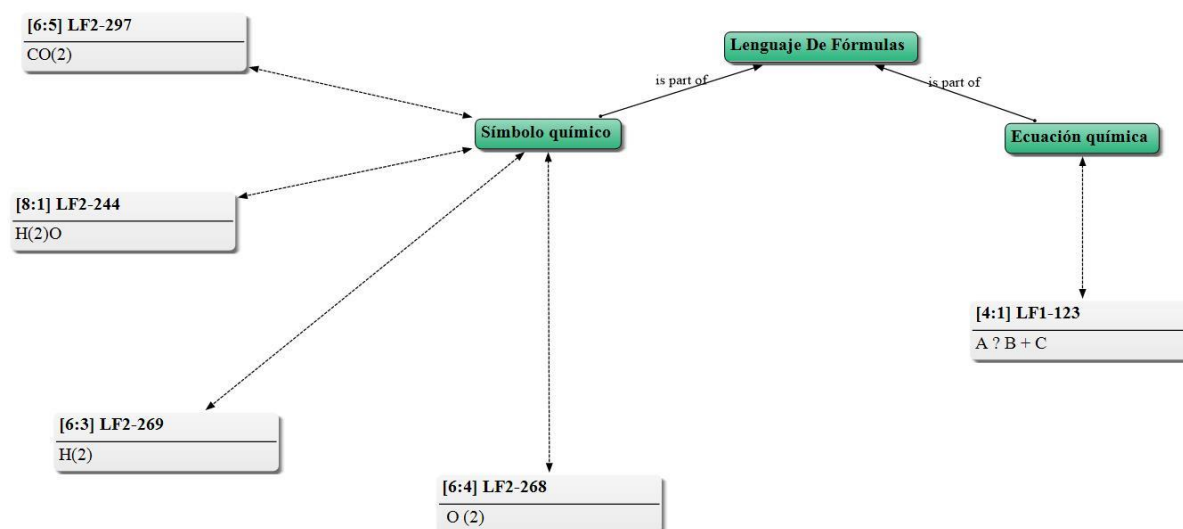
ESTUDIANTE	UNIDAD DE ANÁLISIS
2011CEL08	$A \rightarrow B + C$
2012CEL19	Estano A $\rightarrow$ Estano fundido $\rightarrow$ Estano solidificado $\rightarrow$ cambio físico ① Estano + Oxígeno $\xrightarrow{\Delta}$ Estano reacciona con el Oxígeno. reactivos $\rightarrow$ productos
2012CEL23	100 gramos oal 50 11 atufe + Carbon + Agua

6.3.3.3.2. Símbolo químico (LF2)

Al igual que los hallazgos anteriores, otros datos que se identificaron en las ideas de los participantes fue el uso de símbolos químicos para representar elementos y compuestos. En este sentido cuatro participantes 2010CEL04, 2012CEL19, 2012CEL20 y 2012CEL21 incluyeron algunos como O_2 (LF2-268), H_2 (LF2-269), CO_2 (LF2-297) y H_2O (LF2-244) (ver Figura 22). Se esperaría que los *PFICN*, después de haber cursado y aprobado todas las asignaturas de química, incorporen en sus respuestas diferentes LF2, ya que son una de las formas que existen para describir lo que reacciona y se produce, sin embargo, se pudo identificar que mínimamente acuden a ellas.

Una de las posibles interpretaciones que se logró elaborar es el reto que significó para ellos asociar y clasificar los nombres de los elementos químicos con símbolos químicos, en este sentido y con el propósito de capturar su interés, emerge la importancia de realizar intervenciones en la parte experimental porque es uno de los mecanismos mediante el cual podrán poner en funcionamiento su habla, pensamiento y las acciones tanto con lo que está sucediendo como con el momento de socialización que posteriormente deberá efectuarse entre los demás integrantes del grupo o grupos con los que interactuará (Jacob, 2001, 2007; M. G. Lorenzo & Reverdito, 2004; Mariscal, Oliva, & Bernal, 2009).

Figura 22. Vinculación entre algunas citas (unidades de análisis) acerca del subcategoría De Fórmulas



6.3.3.3.4. Ideas de los *PFICN* acerca de la subcategoría Lenguaje Cotidiano

6.3.3.3.4.1. Término cotidiano (LC)

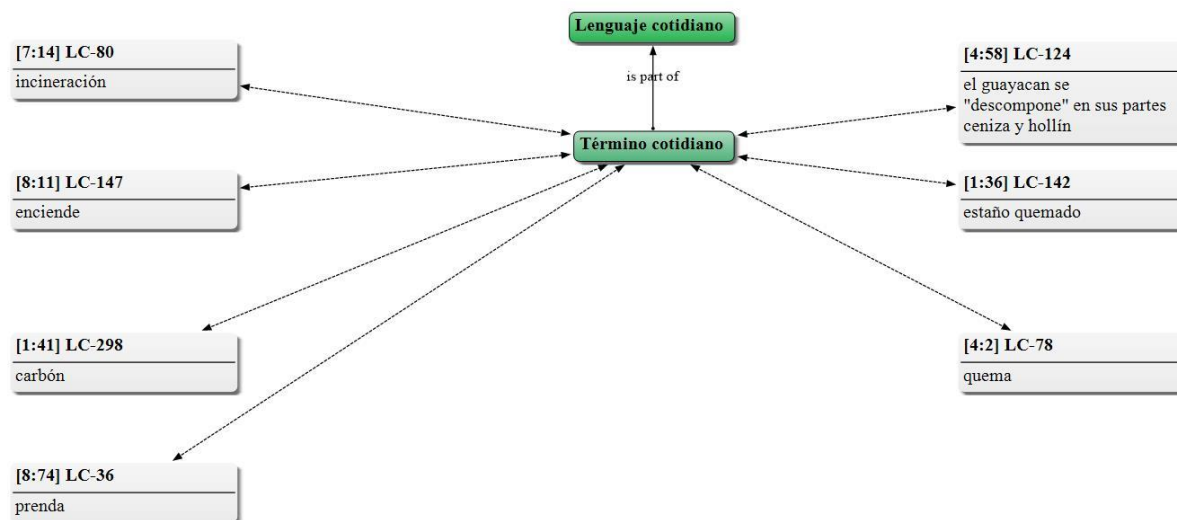
Así como se identificó el uso de términos químicos por parte de los *PFICN*, ellos también incorporaron en sus ideas diferentes términos cotidianos, por ejemplo, utilizaban indistintamente el término “quemado” (LC-142, LC-78 y LC-35) para hacer referencia tanto a la combustión como a la calcinación. Para referirse específicamente a la combustión, los LC que utilizaron fueron “descompone” (LC-124), enciende (LC-147 y LC-144) y prenda (LC-36) (ver Figura 23).

Existen diversas interpretaciones para sustentar el uso de LC por parte de los *PFICN* para referirse ya sea a la combustión o la calcinación. Por ejemplo si hacemos una sumatoria y destacamos que desde su consolidación histórica los significados de los término han cambiado paulatina y reiterativamente, existen coincidencias polisémicas y en algunas ocasiones de sinonimia entre los términos, la diversidad de usos y definiciones que aparecen en los libros de texto o que son difundidos por los profesores de química y en los aspectos programáticos de las asignaturas también existen diversos significados para un mismo término (Camaño, 1998, citado por Caamaño & Irazoque, 2009, p. 48).

De acuerdo a lo anterior, los estudiantes prefieren tomar la decisión de utilizar aquellos términos cotidianos con los que están más familiarizados y que de alguna manera les han servido para responder a las pocas exigencias o problemáticas que son promovidas en sus diferentes actividades tanto académicas como cotidianas, por ello, el lenguaje pasa a cumplir una función simplemente de etiquetación que no les sirve ni para entender ni para comprender hechos científicos ni mucho menos para socializar el conocimiento químico que han

adquirido (Sutton, 1998b). En definitiva, si se pretende diseñar actividades orientadas hacia el qué enseñar, es urgente y necesario que se promuevan e intensifiquen procesos de socialización en los que reconozca y usen fórmulas químicas, símbolos químicos y ecuaciones químicas (Farré, Zugbi, & Lorenzo, 2014).

Figura 23. Vinculación entre algunas UdA acerca del código Término cotidiano



6.4. Triangulación entre el análisis histórico crítico y las explicaciones de los profesores en formación inicial en ciencias naturales

El propósito de este apartado consiste en establecer relaciones entre la información obtenida a partir del *AHC* y el análisis de los cuestionarios de los participantes. En este sentido, la realización de este proceso estuvo mediada por el estudio de la experimentación química asociada a la combustión y enfocado en la congruencia de los siguientes hallazgos: aproximación histórica, presencia y ausencia de conocimiento químico, ausencia de pensamiento experimental y desarticulación del lenguaje.

6.4.1. Aproximación histórica

El análisis de los episodios históricos y las explicaciones de los *PFICN* permitieron identificar cuatro elementos de *aproximación histórica* referente al conocimiento químico que estuvo asociado al estudio de la combustión. Sin llegar a elaborar generalizaciones, se evidenció la existencia de algunos acercamientos entre las explicaciones de los científicos estudiados y las de los *PFICN*⁴². En ambos casos, la comprensión de aspectos vinculados a procesos químicos y la construcción de representaciones y modelos quedan limitados al nivel macroscópico de la química, miremos:

- En el episodio histórico *La combustión como acción mecánica* por el que transitó el proceso experimental de la combustión, científicos como Van Helmont y Paracelso no se focalizaban en la distinción ni en la búsqueda de las razones que permitieran explicar por qué se producía dicho fenómeno. En consecuencia, la participación del *oxígeno* ni de ningún término que hiciera referencia a este, todavía no era fundamental ni necesaria, teniendo en cuenta esta interpretación, fue significativo identificar que aquellas ideas de los *PFICN* que están incluidas en el código Modificación tampoco reconocían la intervención de este componente en la combustión.
- Continuando con esta línea comparativa, se logró identificar que en el episodio *Naturaleza de la combustión*, Stahl, Cavendish, Priestley y Scheele sustentaron la importancia del flogisto en la combustión y asumían que este tenía unas propiedades específicas que le permitían entrar y salir del material combustible dependiendo de la saturación del mismo y de las condiciones a las cuales era sometido. De igual manera, en una de las explicaciones de uno de los *PFICN* (CTr-163) expresaba que el material combustible era un “succionador” que disminuía la cantidad del oxígeno, es decir, tanto los científicos mencionados como el *PFICN*, incorporan vestigios de corrientes existencialistas ya que se concibe al flogisto y al material combustible como un ser vivo que podía atrapar y capturar al oxígeno.

⁴² Esta aproximación histórica podría ampliarse con el propósito de elaborar contrastaciones entre los hallazgos, sin embargo, esto llevaría a formular un nuevo objetivo, el cual no fue contemplado en la tesis doctoral que se realizó, por lo tanto se deja enunciado para futuras investigaciones.

- A diferencia de las explicaciones anteriores, Lavoisier incorporó y destacó al oxígeno como uno de los reactivos presentes en la combustión, así mismo, algunos de los PFICN también avanzaron hacia el reconocimiento del oxígeno como reactivo, otros lo denotaron como comburente y hasta determinaron que era el reactivo límite en la reacción.
- La indagación en las ideas de los PFICN permitió identificar que al *fuego/llama* le asignaron una función importante ya que lo incluían como uno de los reactivos que participaban en la combustión, de igual manera, en este mismo episodio, el *fuego/llama* estuvo asociado a la función del flogisto en la combustión por Stahl, Cavendish, Priestley y Scheele, mientras que para Lavoisier era una evidencia del calórico que participaba de esta reacción química.

6.4.2. Presencia y ausencia de conocimiento químico

Como se ha sustentado a lo largo de esta investigación, el conocimiento químico es una actividad humana que está en constante producción y reformulación. Esta idea fue verificada a través de la *presencia* de los diferentes modelos fenoménicos que elaboraban los científicos para lograr explicar las evidencias, datos y hechos científicos que continuamente emergían de la integración teórico experimental que emprendían junto con sus colaboradores, por ejemplo:

- Boyle elaboró su filosofía mecanicista o corpuscular para explicar que el fuego de la combustión se comportaba como corpúsculos que penetraban el vidrio de los instrumentos y producían la combustión.
- Para Mayow la combustión y sobre todo la producción de llama era favorecida por esas partículas que él llamó el *espíritu nitro aéreo* (*spiritus aeris nitrosus*).
- Stahl propuso el término flogisto para interpretar las propiedades de los metales, la respiración, la calcinación, la corrosión, la combustibilidad y la fusibilidad.
- Scheele desde la perspectiva del flogisto aseguró que el calor es el fuego elemental.
- Cavendish asumió que el aire inflamable era un compuesto del flogisto y por lo tanto le otorga propiedades inflamables.
- Priestley usó el modelo del flogisto para enunciar que al realizar la combustión este se desprendía.
- Lavoisier propuso el término “*principio acidificante o principio oxígeno*” para hacer referencia a la combustión.

Sin embargo, en el caso particular de los PFICN los resultados permitieron identificar que existe *ausencia* en la apropiación de conocimiento químico y en otras palabras también

podría denominarse como desarticulación. La información obtenida permitió identificar que los *PFICN* cuando pretenden explicar la combustión expresan las siguientes ideas:

- No se reconoce la importancia ni la necesidad del oxígeno y del material combustible en la combustión.
- El fuego/llama en algunas ocasiones es considerado como un elemento que interactúa como uno de los reactivos en la reacción.
- Los productos obtenidos no concuerdan con los reactivos que participan en la combustión, por ende, no se reconoce la conservación de la masa.
- No se reconoce la función de la chispa como el mecanismo fundamental para dar inicio a la combustión y por ende mantener la llama sin añadir calor exterior.
- No se establece relación entre la combustión y la calcinación como un caso particular de una combustión lenta.

Lo anterior es un reflejo del hecho de que los *PFICN* en la mayoría de los casos únicamente quedan limitados a la revisión y consulta de los libros de texto de química universitarios para adquirir conocimiento químico, debido a que estos se focalizan exclusivamente en procesos de memorización, resolución de ejercicios, aplicación y mecanización de ecuaciones no potencian todo lo que significa la actividad científica tanto en términos teóricos como experimentales.

La conceptualización de lo anterior desde una mirada educativa permite indicar que el nivel macroscópico es inherente al estudio de la química y debe ser el punto de partida para cuestionar, indagar y hablar, sin dejar de lado la articulación con el nivel simbólico y micro. En esta medida, se debe diseñar una propuesta programática que esté en concordancia con el desarrollo histórico del conocimiento químico, por ello se debe iniciar con el estudio de situaciones problemas tangibles y la búsqueda de respuestas permitirán conducir paulatinamente hacia la incorporación y articulación de lo microscópico y lo simbólico.

6.4.3. Ausencia de pensamiento experimental

Sumado a lo anterior, otro aspecto fundamental que se identifica al triangular la información obtenida a partir del *AHC* con las explicaciones de los *PFICN* es la *ausencia de pensamiento experimental*:

- Mientras que los científicos acuden a experiencias *imaginativas* como un recurso fundamental para lograr una primera aproximación a lo que posiblemente puede ocurrir cuando efectúan acciones materiales e instrumentales, es decir, que para ellos esto es un elemento que conforma uno de los aspectos fundamentales que debe integrar las actividades científicas, los *PFICN* escasamente hicieron explícito ideas relacionadas con este tipo de experiencias.

- Las explicaciones de los *PFICN* comparadas con los hallazgos del *AHC* permitió establecer un distanciamiento entre ambos en las *descripciones experimentales*. Este distanciamiento se evidencia claramente porque los científicos eran prolijos en el momento de relatar las acciones y los esfuerzos que experimental y conceptualmente debían incorporar en sus documentos, sobre todo porque tenían en cuenta la rigurosidad con la que seguidores y opositores de sus ideas iban a leerlos, sin embargo, no sucede lo mismo con los *PFICN* ya que, primero, no están habituados a analizar procedimientos y segundo, las pocas actividades experimentales están direccionadas hacia el desarrollo de habilidades manipulativas, reproducción de etapas y las preguntas que resuelven no requieren mayor esfuerzo ni teórico ni experimental.
- Otro distanciamiento entre los hallazgos del *AHC* y las explicaciones de los *PFICN* radica en que los científicos son minuciosos en el momento de incluir y describir el funcionamiento de los instrumentos y materiales que utilizaban ya que en ocasiones incorporaban ajustes o nuevos diseños que debían de quedar claro para que otros los volvieran a realizar, en cambio, los *PFICN* aunque incluían algunos instrumentos en sus explicaciones, la descripción del funcionamiento era insuficiente o con poca claridad.

Una interpretación de por qué ocurren los aspectos anteriores es que el uso de libros de textos de química universitarios y las guías de laboratorio no promueven este tipo de acciones y los informes que se deben entregar únicamente incluye los resultados obtenidos pero sin un análisis en profundidad del fenómeno que permita encontrar regularidades y/o tendencias. Lo anterior continúa siendo un reflejo de la perspectiva descontextualizada y tradicional donde únicamente se confirma o demuestra lo que parece en los libros o lo que el profesor dictó en clases, en esta perspectiva los profesores y estudiantes cumplen un rol pasivo en que el que no se adquieren conocimientos ni destrezas sino que se mecanizan procedimientos que con el tiempo serán promovidos en las escuelas y colegios donde desempeñen su labor docente.

6.4.4. Desarticulación del lenguaje

La explicación cualitativa preponderante en los científicos y el escaso o desarticulado lenguaje químico en los *PFICN* permite plantear lo siguiente:

- En el caso del lenguaje verbal y específicamente el uso de *términos químicos*, tanto los científicos estudiados como los *PFICN* los utilizaban para referirse a la combustión, es necesario hacer la salvedad que los contextos de ambos participantes es diferente y en esta medida, la necesidad de establecer una comunicación o la explicación de fenómenos. Uno de sus requisitos principales consistía en acudir a

aquellos términos químicos que habían adquirido o que eran ampliamente utilizados tanto en la época de los científicos como en la actualidad para los *PFICN*.

- El uso frecuente de *términos cotidianos* por parte de los científicos y los *PFICN* es otra relación que se puede establecer, ya que para referirse a la combustión en ambos casos se utilizaban indistintamente palabras como encender, prender, quemar, por ello se puede sustentar que la manera como fueron utilizadas en sus textos permite establecer que estos términos eran utilizados indistintamente para describir esta reacción.
- Comparativamente entre los científicos y los *PFICN* se identificó que estos últimos utilizaban términos químicos de forma *descontextualizada* y que no correspondía con lo que estaban explicando, por ejemplo, uno de ellos expresó que la combustión del azufre interactuaba como una solución Buffer, esto es inadecuado porque este último término es inherente a reacciones ácido base y no a la combustión.
- Por último y en relación con lo que se acaba de presentar, también emerge lo que se podría denominar la *formalidad simbólica* y en comparación con los planteamientos y explicaciones de Lavoisier, se identificó que tanto él como algunos de los *PFICN* usaban *símbolos químicos* para hacer referencia a los elementos que hacían parte de la reacción química, sin embargo, estos últimos no han incorporado las reglas que específicamente deben apropiarse para poder diferenciar y nombrar las diferentes sustancias que hacen parte de las reacciones químicas.

Desde una perspectiva analítica se puede enunciar que la coincidencia en el plano del lenguaje químico se establece a través de la nomenclatura química, la cual, con o sin el establecimiento de reglas para nombrar elementos, sustancias y compuestos, toma como base el uso de vocablos del lenguaje común pero con sentido diferente, en relación con lo anterior, la desarticulación en el uso del lenguaje químico por parte de los *PFICN* no les permite comparar los tipos existentes y esto los conlleva a seleccionar incorrectamente el o los que se requieren para explicar las situaciones problema.

7. DISEÑO DE UNA PROPUESTA PROGRAMÁTICA ALTERNA PARA LA ENSEÑANZA DE LA COMBUSTIÓN

Para dar estructura a cada una de las partes que integran el diseño de una propuesta programática alterna de enseñanza de la combustión a *PFICN* es pertinente iniciar recordando que esta tesis doctoral tuvo como eje tres pilares: I. La identificación de los aportes del estudio histórico filosófico de la experimentación asociada a la combustión. II. La caracterización de las explicaciones como fuente de información del conocimiento químico adquirido por los *PFICN*. III. El diseño de una propuesta programática alterna para la enseñanza de la química a los *PFICN*. El último pilar está fuertemente enlazado con uno de los objetivos específicos: Diseñar una propuesta programática alterna para la enseñanza de la química para profesores en formación inicial de ciencias naturales. En este sentido, la fundamentación, y sustento que a continuación se incluye, estuvo orientado con el propósito antes mencionado.

Iniciemos considerando que la propuesta está orientada para la enseñanza de la química y particularmente de la combustión, es innegable que los sujetos a quienes está dirigida son los profesores de química, ellos podrán analizarla, socializarla y sobre todo intervenirla, de acuerdo a las necesidades e intereses que influyen en sus clases. Se deja claro que esta propuesta es una alternativa inacabada que ofrece aportes o perspectivas que servirán para visualizar que el conocimiento químico debe y puede construirse a partir de diversas formas, donde lo importante no es la memorización de definiciones, sino que debe propender por la reflexión, análisis y pensamiento crítico que hacen parte de los futuros profesores de ciencias.

De acuerdo a lo sustentado teóricamente en el apartado 4.1 del marco teórico, el diseño de esta propuesta programática se conceptualiza desde el enfoque de enseñanza de las ciencias, denominado *construcción de significados* el cual es una perspectiva donde se asume la actividad científica como una actividad humana y cultural que está continuamente en construcción por parte de los diversos integrantes de un colectivo (García-Arteaga, 2011a; Novak, 1998), en esta medida, la construcción de significados “surge de los esbozos y acciones legitimadas en su entorno cultural, la permanencia de este acervo cultural es el resultado de apropiaciones simbólicas individuales del caudal de representación simbólica colectiva” (Gutiérrez, Ball, & Márquez, 2008, p. 693).

El otro aspecto teórico fundamental, sustentado en el apartado 4.1 del marco teórico, fue el reconocimiento de los elementos que se deben tener en cuenta desde una *teoría de los contenidos*, como son: I. *Objetivos o finalidades educativas*. II. *Núcleos temáticos*. III. *Criterios para conectar con otros conocimientos*. IV. *Procesos de justificación o procesos epistemológicos*.

Tanto el enfoque de enseñanza basado en la construcción de significados como los elementos de la teoría de contenidos adquirieron sentido en el diseño de esta propuesta programática en la medida que vinculo los hallazgos provenientes de: I. El estudio histórico filosófico de la

experimentación asociada a la combustión. II. El análisis de cuestionarios resueltos por los *PFICN*.

A manera introductoria, se destacan aquellos hallazgos del estudio histórico filosófico de la experimentación asociada a la combustión que fueron tenidos en cuenta en el diseño de la propuesta, su justificación e importancia serán emitidas en la medida que se integren con cada uno de los elementos de la teoría de contenidos, estos son:

- El análisis químico como programa de investigación que se estructuró a partir de diversos episodios históricos inherentes a la combustión.
- Los hechos científicos como núcleos temáticos en los que se indague, comprenda e identifique la relación existente entre combustión, calcinación, corrosión y reducción como tipos de reacciones químicas; el reconocimiento de los componentes que intervienen en la reacción de combustión y los factores involucrados en la transformación de los materiales
- La intervención de fenómenos químicos para fomentar la descripción de experimentos, la interpretación de actividades teórico experimentales, el diseño de instrumentos alternos y con mirada educativa.
- La socialización del conocimiento químico: uso de lenguaje químico para comunicar ideas a otros participantes del campo académico.

Así mismo, los hallazgos del análisis de cuestionarios resueltos por los *PFICN* que se tuvieron en cuenta en la propuesta corresponden a:

- Elaboración de explicaciones sobre hechos científicos en los que se permita comprender el conocimiento químico que hace parte de ellos.
- Incorporación de situaciones problema que implícita y explícitamente incorporen actividades teórico experimentales y en las cuales se logre adquirir y comprender lenguaje químico que posteriormente permita socializar ideas sobre la combustión en el marco de grupos colaborativos.
- Potencialización a nivel experiencial de descripciones de procedimientos, la incorporación y comprensión del funcionamiento de los instrumentos/materiales en sus experiencias, la imaginación y reconstrucción de nuevas situaciones problema.

Los hallazgos anteriores de esta tesis doctoral conformarán el diseño de una propuesta programática que se delimita al “qué enseñar de la química” para los *PFICN*. Se debe involucrar los diferentes episodios históricos y los hechos científicos que se identificaron en el desarrollo histórico de la combustión, los cuales, deberán facilitar la comprensión la adquisición de conocimiento químico, la experimentación química y el lenguaje químico, de ser así, el conocimiento dejaría de verse como una simple y fragmentada sumatoria de temáticas por parte de los estudiantes y pasarán a conectarse al interior de la misma química como con otras disciplinas, contextos científicos y situaciones cotidianas donde serán aplicadas. En consecuencia con lo que se acaba de plantear, a continuación se sustentan las implicaciones que integran cada uno de los elementos de una propuesta programática.

7.1. Objetivos o finalidades educativas

Los planteamientos que han direccionado la manera de entender la química y en particular su enseñanza han permitido representar que un camino alternativo a lo que en la actualidad se orienta en las clases de química consiste en concebir que la enseñanza del conocimiento químico a los *PFICN* debe surgir del reconocimiento de los tres programas de investigación por los cuales esta ha transitado históricamente, es decir, el análisis químico, la sustitución química y la síntesis química (Bensaude-Vincent & Stengers, 1997). Los intereses de estos tres programas están orientados por las preguntas ¿Cuáles son los elementos que integran determinados compuestos?, ¿Qué sucede si remplazo uno de esos elementos del compuesto? y ¿Cómo obtengo compuestos similares a las que se encuentran en la naturaleza? Históricamente la búsqueda de respuestas permitió identificar que el interés fundamental de estos programas confluía en el estudio las reacciones químicas. Como hemos sustentado, uno de los conceptos que ejemplifica las reacciones químicas es el de combustión, la cual está relacionada con la calcinación, corrosión y reducción⁴³, por ello su estudio fue trascendental para el desarrollo del análisis químico.

Antes de iniciar la comprensión de la relación existente entre la combustión, calcinación, corrosión y reducción, los *PFICN* deben reflexionar sobre la carga tradicional de conocimiento químico que han estructurado a través de su trayectoria y relación previa con los contextos que han frecuentado o a los que pertenecen. Teniendo en cuenta los resultados de esta investigación, para esta propuesta adquiere valor el reconocimiento e importancia de diseñar actividades mediante las cuales los *PFICN* elaboren explicaciones en las que no solamente reconozcan la función de los agentes externos en las reacciones sino que también les sirva para evidenciar que los reactivos interactúan químicamente y se transforman en productos, tengan la capacidad de deducir e interpretar la conservación de la masa y los cambios de energía/calor inherentes a las reacciones.

Las actividades deben estar encaminadas principalmente hacia la construcción de una perspectiva del conocimiento químico como una actividad humana en la cual se hace indispensable promover procesos de socialización en el que a través de la comunicación se alcanzan intercambios e interacción dinámica entre los distintos integrantes del colectivo profesoral. La importancia de la socialización radica en que por medio de ella cada uno de los *PFICN* logre identificar y apropiarse necesidades, compromisos, actitudes, ideologías que constituyen al colectivo, de esta manera ellos se transformarán en miembros activos con responsabilidad social. A medida que la comunicación se vuelve fluida ellos verán la necesidad de utilizar el lenguaje químico que les permita describir, explicar, justificar y argumentar cada una de las ideas que expone ante los demás integrantes o compañeros.

⁴³ El fenómeno de la combustión históricamente también tuvo relación con la respiración, a transpiración y la fermentación, sin embargo, esto sólo se deja esbozado ya que implicaría avanzar hacia la integración disciplinar entre biología y química, así que queda abierto para nuevas investigaciones.

Las ideas anteriores sumadas a que uno de los retos de la enseñanza de la química es diseñar propuestas que conecten lo experimental, lo conceptual y lo lingüístico, permite formular los siguientes tres objetivos o finalidades generales:

- Intervenir fenómenos asociados a la combustión para la comprensión del análisis químico.
- Interpretar actividades teórico experimentales relacionadas con los hechos científicos asociados con la combustión.
- Desarrollar procesos de socialización que permitan comunicar el conocimiento químico construido por los *PFICN*.

Los objetivos o finalidades específicas serían:

- Analizar hechos científicos asociados a la combustión como una reacción química.
- Identificar los componentes que intervienen en la reacción de combustión.
- Reconocer los factores involucrados en la transformación de los materiales
- Establecer relaciones entre la combustión y nuevos hechos científicos químicos.
- Construir explicaciones sobre hechos científicos ligados a la combustión.
- Sustentar y defender ideas sobre la combustión en el marco de grupos colaborativos.
- Diseñar actividades teórico experimentales alternativas sobre la combustión.

7.2. Núcleos temáticos

Tradicionalmente la enseñanza de la química para los *PFICN* incluye temáticas como modelos atómicos, estequiometría, nomenclatura, tabla periódica, reacción química, enlaces químicos, equilibrio químico, ácidos y bases, cinética química, que se enseñan en los diferentes niveles educativos son los mismos desde hace 80 años (Bennett & Holman, 2002), sin embargo, desde los análisis de los resultados de esta tesis y teniendo en consideración un enfoque alternativo como lo es la construcción de significados, los núcleos temáticos que están en sincronía con los objetivos planteados corresponden a:

- *Emisión de llama*
- *Aislamiento de los gases*
- *Discrepancia entre la masa de los metales y sus productos*

7.3. Criterios para conectar con otros conocimientos

Así como la sociedad ha cambiado y trae consigo cambios en el conocimiento de la química, también se deben realizar cambios en la enseñanza de la química para dejar de perpetuar lo que varias investigaciones han cuestionado desde hace muchos años, por ello, adquiere relevancia resignificar hechos científicos que estén próximos a quienes los estudian, de esta

manera, la evidencia experimental junto con los aspectos teóricos servirán para establecer conexiones entre los fenómenos presentes en ellos (Izquierdo, 2005c).

Las actividades diseñadas deben incluir elementos tanto de índole histórico como de actualidad que estén asociados a diversos hechos científicos sobre la reacción química, con esto se pretende que los *PFICN* reflexionen e interpreten sobre su significado y sobre todo el lenguaje químico necesario para su conceptualización.

Se debe orientar a los estudiantes para que a través de la escritura avancen de procesos de descripción experimental hacia la construcción de narrativas experimentales en las que incluyan y describan el funcionamiento de los instrumentos/materiales en sus experiencias.

Se debe persuadir a los estudiantes que den un paso hacia la imaginación y reconstrucción de nuevas situaciones problema donde puedan explicitar procedimientos e incorporen diferentes instrumentos/materiales.

7.4. Procesos de justificación o procesos epistemológicos

Si nos detuviéramos un momento a observar todo lo que ocurre a nuestro alrededor, nos daríamos cuenta que existen diversas manifestaciones que a simple vista pueden identificarse, sin embargo, la capacidad de asombro que mínimamente persiste en los *PFICN* no les permite observar ningún tipo de cambio y por el contrario todo se vuelve rutinario y común. Es en esta medida que el *AHC* adquirió importancia porque permitió identificar que situaciones específicas (aislamiento de gases), acciones cotidianas (encender una vela) o necesidades sociales (metalurgia) se volvieran un objeto de estudio para que científicos y científicas emprendieran sus actividades teórico experimentales que a la postre alcanzarían relevancia e importancia para las generaciones futuras.

Lo anterior es una posibilidad que debe servir para llevar a cabo procesos de recontextualización de esas actividades teórico experimentales mediante los cuales se construyan situaciones problema con el propósito de promover en los *PFICN* la indagación, la formulación de preguntas, interrogantes y el planteamiento de nuevas situaciones que les permita construir conocimiento químico y a su vez, sea una oportunidad para emprender procesos de socialización en los que sea necesario describir, explicar, justificar y argumentar sus ideas. No se desconoce, que el profesor a través de sus clases, en lugar de buscar respuestas, debe ser un asiduo promotor de preguntas, por ello, debe iniciar con la formulación de algunas que sirvan como punto de partida.

Las actividades y situaciones problema recontextualizadas también deben servir para que los *PFICN* avancen desde descripciones experimentales en donde se reconstruyen las experiencias o donde se hace énfasis en el procedimiento experimental hacia la elaboración de narrativas experimentales en las que explícitamente se logre identificar el modelo que han adquirido para explicarlos, los procedimientos que han diseñado para obtener información y

el uso y descripción del funcionamiento de instrumentos, sustancias, compuestos y elementos que incluyen.

En este panorama, el conocimiento químico se construye a partir de la necesidad y el interés que se “despierte” a partir de las situaciones problema y las preguntas que constantemente se formulen. Es así que conceptos químicos (reacción química, combustible, comburente, elemento, sustancia, molécula, átomo, nomenclatura química, estequiometría) que se requieran para elaborar explicaciones serán necesarios estudiarlos, comprenderlos y aprenderlos y no se pretende que las definiciones estén jerárquicamente en la parte superior sino que deben adquirirse por la importancia que adquieren para poder entender lo que se esté estudiando.

De igual manera, la sincronía entre los dos aspectos anteriores les exigirá a los *PFICN* adquirir y dominar el lenguaje químico necesario para poder comunicar las ideas que van elaborando, por ejemplo, si requieren explicar una reacción química podrán acudir al lenguaje verbal, gráfico, de fórmulas o el que se requiera para poder socializar con los otros integrantes del colectivo de profesores.

Las ideas anteriores sumadas al reconocimiento y valoración de la integración que debe existir entre la experimentación y la teoría en química, permite expresar que las actividades que se diseñen deben implícita o explícitamente promover el uso y apropiación de los tres elementos de Pickering (procedimiento material, modelo instrumental, modelo fenoménico). De igual manera, como plantean Caamaño (2005) y Cabrera (2015), las actividades deben cumplir funciones de tipo *exploratorio* (realizadas por el estudiante con la intención de encontrar como los factores (concentración, temperatura, tiempo de ebullición, presión) influyen en el fenómeno estudiado. Aquí no existen hipótesis y de existir no están suficientemente avanzadas), *para contrastar o confirmar hipótesis* (son realizados por los estudiantes con el propósito de determinar si el resultado fue el que predijo o no su hipótesis, es decir, que se encuentra la mejor manera de establecer procesos de control), *demostrativas* (son realizados por el profesor con la intención de demostrar el efecto y manifestación física de una sustancia en otra o para cuantificar e ilustrar una ley, mientras esto sucede los estudiantes observan, dialogan y anotan resultados más no manipulan o participan activamente en la práctica), *comprobatorias* (son realizados por el estudiante con la intención de corroborar lo predicho por determinada teoría que previamente fue dado por el docente o por el libro de texto) y *mostrativas o interpretativas* (realizadas por el profesor con el propósito de dilucidar los fenómenos observados, además, sirven para explorar las ideas y modelos que tienen los estudiantes, estas buscan dar una pauta para emprender la relación entre la teoría y la experimentación, además, inicia desde el nivel macroscópico, el cual es más próximo a los estudiantes para conducirlos al nivel microscópico y terminar en el nivel simbólico).

Como veremos a continuación, se esbozan una serie de actividades mediante las cuales puede promover lo que se ha descrito previamente.

7.4.1. Emisión de llama

La emisión de llama históricamente ha despertado la curiosidad de científicos y científicas ya que se han dado a la tarea de conocer por qué en algunas reacciones químicas se lograba observar este fenómeno particular, sin embargo, en la actualidad esto se ha vuelto tan común que esta situación no alberga ningún sentido ni tampoco implica un esfuerzo o elaboración de preguntas sobre las razones por las cuales la llama se emite. Es importante resaltar que con sólo encender una vela se puede desencadenar un sin número de explicaciones en las que se enfatice en la importancia y necesidad del oxígeno y del material combustible, el papel del fuego/llama, los productos obtenidos y la función de la chispa. Igualmente, se puede orientar procesos mediante los cuales los *PFICN* propongan procedimientos alternativos en los que diseñen y utilicen otros instrumentos y materiales en los que por ejemplo logren producir, preservar y prolongar la llama.

7.4.1.1. Importancia y necesidad del oxígeno y del material combustible

En lo que corresponde a la combustión y la emisión de llama, dos de los componentes fundamentales que entran en conjunción para que esto ocurra, son el oxígeno y el material combustible.

En el caso del oxígeno, es el comburente natural en nuestro planeta y de acuerdo a su cantidad, la combustión puede ser completa (perfecta) cuando toda la parte del combustible se ha oxidado al máximo o incompleta (imperfecta) y se caracteriza por la presencia de cuerpos no totalmente oxidados. El material combustible es aquella sustancia de origen natural o artificial o que por su estado físico a temperatura ambiente (sólido, líquido o gaseoso) tienen la capacidad de arder.

De acuerdo a lo que se identificó en el *AHC*, los científicos y científicas lograron reconocer que los explosivos como la pólvora no requerían aire y en específico el oxígeno para realizar la combustión ya que esta enlazado químicamente a él, por ello, se hace necesario y fundamental que las actividades que se diseñen les permita a los *PFICN* reconocer la importancia tanto del oxígeno como la del material combustible.

A continuación se incluyen tres situaciones problema que retoman algunos de los datos históricos que se identificaron, además, estas cumplen una función *exploratoria* ya que debe permitirle a los estudiantes expresar ideas, que posteriormente deben ser los insumos para avanzar hacia la comprensión de este fenómeno a través de la integración entre el modelo fenoménico, el procedimiento material y el modelo instrumental.

Situación problema 1:

“El Guayacán quemado con fuego en una chimenea, es capturado en cenizas y hollín, mientras que la misma madera quemada en una retorta se separa en aceite, alcohol, vinagre, agua y carbón vegetal” (fragmento de un experimento tomado del libro *El Químico Escéptico* escrito por Boyle en 1661).

Pregunta:

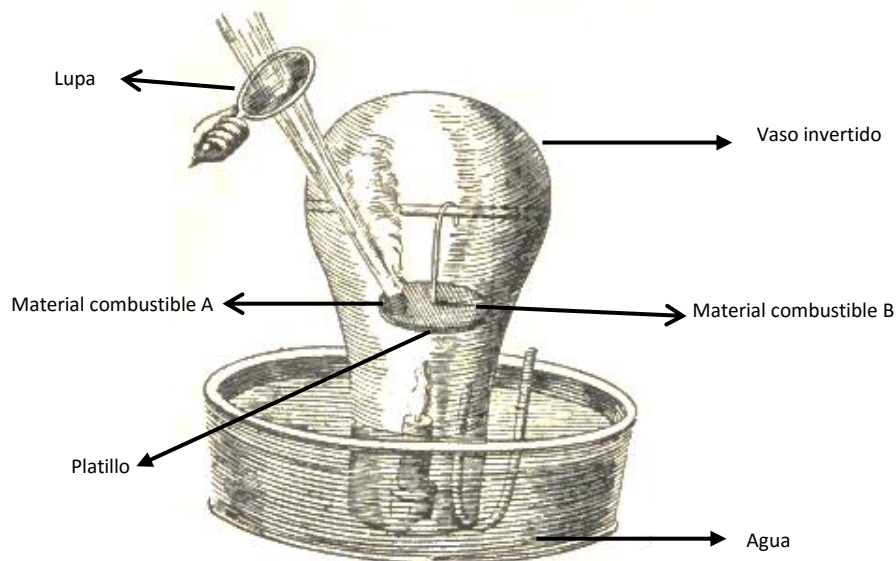
- ¿Qué explicación darías a la situación planteada?

Situación problema 2:

“Dejar cualquier material combustible A (musgo seco) que puede emitir fácilmente fuego, se suspende en un recipiente de vidrio invertido tan grande como se puede tener, como se muestra en la Figura 1. Cuando esto se ha hecho, dejar que el vaso de vidrio invertido se sumerja en el agua cerca de diez dedos de modo que el agua encerrada en el vaso este en el mismo nivel que el agua en el exterior. Debe tenerse en cuenta que la superficie del agua encerrada dentro del vidrio esté al mismo nivel que sin el agua (*Momento 1* cursiva nuestra). Ahora deje que el recipiente de vidrio quede expuesto a los rayos del sol y dejar que la materia combustible encerrada en ella se encienda por medio de una lupa. Cuando se ha hecho esto, verá que el agua desciende al interior (*Momento 2* cursiva nuestra). Cuando la luz se ha apagado usted observara que el agua al interior ha aumentado por encima del punto inicial (*Momento 3* cursiva nuestra)” (fragmento de un experimento tomado del libro *Medico-physical Works: Being a Translation of Tractatus Quinque Medico-Physici* escrito por Mayow en 1674).

Figura 1.

Montaje experimental realizado por Mayow.



Preguntas:

- ¿Cómo crees que se comporta el material combustible A para que el agua descienda al interior (*Momento 2*)?
- ¿Qué explicación darías para que después de apagarse la luz se observe que el agua al interior aumente por encima del punto inicial (*Momento 3*)?
- Si utilizamos el montaje anterior en las condiciones que quedaron después del *Momento 3* y procediéramos a encender el material combustible B ¿qué crees que sucedería?
- ¿Por qué al tratar de encender un segundo material combustible dentro del mismo recipiente no tuvo éxito?

Situación problema 3:

Boyle con el interés de producir, preservar y propagar la llama sin la ayuda del aire, describió en uno de sus experimentos lo siguiente:

Tomamos tres onzas de Pólvora, una dracma de Carbón quemado, una dracma y media de Salitre, estos ingredientes fueron reducidos a polvo y ágilmente mezclados sin ningún líquido, además utilizó una pluma de Ganso, que fue cortada, en lugar de esta también se puede utilizar una Pipa de Tabaco de dos o tres pulgadas de largo, bien tapada en el extremo, tenía su cavidad bien llena con la mezcla, (en lugar de eso, la Pólvora macerada por sí sola podría servir, si no funciona con demasiada violencia, o demasiado pronto). Para la llama, el orificio abierto de la Pluma o la Pipa fueron cuidadosamente tapadas con una cantidad suficiente de la misma mezcla, hecha con un poco de Chymical Pyle o Agua, hasta producir una consistencia. Este fuego-Salvaje se encendía en el aire, y la Pluma o Pipa, junto con un peso, a la que estaba atada para que no ascendiera, fue lentamente colocada bajo el agua, donde continuaría ardiendo, apareció gran esmog emitido, y otras señales, hechas en el aire; la forma de la Pluma o la Pipa mantenían la mezcla seca de ser accesible para el agua (que la habría desordenado y estropeado) en cualquier otra parte del Orificio superior; y allí la corriente de fuego se emitía con violencia, al igual que incesantemente rechaza el agua vecina, y le impidió entrar en la cavidad que contenía la mezcla, y, por tanto, continuaría ardiendo hasta que se consumía (fragmento de un experimento tomado del *TCH Tracts written by the honourable Robert Boyle containing new experiments touching the relation betwix flame and air: and about explosions: an hydrostatical with some objections of Dr. Henry More against some explications of new experiments* escrito por Boyle en 1673)

Preguntas:

- ¿Por qué algunos cuerpos combustibles emiten llamas?
- ¿Qué características o propiedades tienen la pluma o la pipa de tabaco para ser consideradas como un instrumento experimental?
- ¿Por qué existía el interés de diversificar los medios para producir la combustión?
- ¿Qué material combustible utilizar para evitar la ruptura del instrumento que lo contenía?
- Diseñar una situación experimental que permita realizar el estudio del fenómeno de la combustión bajo el agua.

7.4.1.2. Papel del fuego/llama

La llama es una evidencia de la combustión y es provocada por la emisión de energía, por ello en la actualidad es denominada como energía luminosa y calorífica. Esta puede observarse en la incandescencia de las velas a través de la interacción entre la cera, el pabilo y el comburente, en los mecheros bunsen que utilizan gases como metano, propano o butano puede utilizarse para identificar elementos químicos en una muestra, en la industrial es utilizada para cortar y soldar metales y en mayor medida para favorecer el transporte terrestre y aéreo y en el uso doméstico la llama tiene por objeto ayudar en procesos de cocción de los alimentos.

Las siguientes cuatro situaciones problema tienen la función *mostrativa y para contrastar o confirmar hipótesis* ya que con ellas se pretende que el profesor presente los cambios que ocurre en una reacción y posteriormente que los estudiantes diseñen, proyecten y formulen nuevas situaciones.

Situación problema 4:

Un joven en un lugar abierto, toma varios pedazos de madera seca y fósforos y al cabo de unos minutos empieza a generar fuego en forma de llama, además, puede observar la formación de carbón y ceniza.

Preguntas:

- En esta experiencia cuáles serían las razones para que la madera seca se convierta en ceniza.
- ¿Qué le sucede al material combustible cuando se enciende?
- ¿De qué está hecha la llama en la madera seca y el fósforo?
- ¿Qué sucedería si realizo la quema de madera verde?

Situación problema 5:

Algunos de los experimentos que Boyle elaboró pretendía interpretar la combustión, al respecto los ensayos que realizó tenían el propósito de identificar que aun cuando los cuerpos que estaban encendidos eran de naturaleza muy inflamable, era difícil comunicar la llama de un cuerpo a otro, sin la ayuda del aire.

Preguntas:

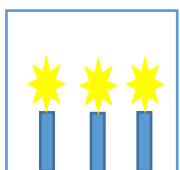
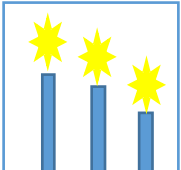
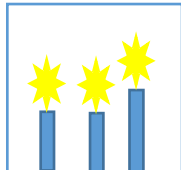
- ¿Cómo lograr que la llama emitida por el combustible se preserve?
- ¿Qué otros materiales – instrumentos pueden reemplazar la función del Aire?
- ¿Por qué la luz no se prolonga después de la extinción de la vela?

Situación problema 6:

El experimento típico que se utiliza frecuentemente a nivel de básica secundaria es el de la vela, el plato, el agua y el vaso, sin embargo, que ocurriría si en lugar de una vela tenemos tres velas en el mismo sistema (Figura 2)

Figura 2.

Sistemas que incluyen tres velas

		
Tres velas del mismo tamaño	Tres velas de tamaño diferentes	Dos velas del mismo tamaño y una de tamaño diferente

Preguntas:

- ¿Por qué la forma de la llama es siempre puntiaguda?
- Explique cómo lograría que la llama emitida por una vela se preserve.
- ¿En qué orden se apagan?
- ¿Qué ha sucedido con el aire en el frasco?
- ¿Cuáles son las razones para que se apaguen en el orden que ustedes plantean?

Situación problema 7:

Otra versión del experimento de la vela fue desarrollada por el Instituto de Física (<http://www.physics.org/interact/physics-to-go/lifting-lemon/>) y la experiencia incluía materiales como rodaja de limón, cuatro cerillos, vaso de vidrio, cenicero y agua. El procedimiento que se debe seguir consiste en verter agua en el cenicero hasta que el agua llegue a un centímetro de profundidad, coloque tres cerillas en la rodaja de limón (en forma de una pirámide triangular, con las cabezas en el punto más alto de la pirámide), deposite el limón y cerillos en el centro del cenicero (de modo que floten en el agua), encienda el cuarto cerillo y utilícelo para iluminar los otros tres, invierta el vaso de cerveza sobre el limón y cerillos.

Preguntas:

- Diseñar una situación experimental con el propósito de lograr la preservación de la llama.
- ¿Por qué a una cierta distancia de la mecha la llama ya no se enciende?
- ¿Cuáles son los componentes que participan en la combustión de los cerillos? Describa su función

7.4.1.3. Productos obtenidos

La experimentación química con procesos de combustión tiene asociados la producción de gases denominados humos o gases de escape (dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno), cenizas formadas por componentes no combustibles o no quemados del combustible (asbesto, sílice, polvo y carbón) y vapor de agua. Las siguientes cuatro situaciones problema tienen una función *exploratoria* para poder identificar el conocimiento químico que se adquirió al finalizar un proceso de intervención en clases.

Situación problema 8:

En la noticia titulada “El dispositivo para fumar que sin haber llegado a Latinoamérica ya causa polémica⁴⁴” publicada por un periódico colombiano se manifestaba que la empresa:

“Philip Morris International (PMI) analiza el posible lanzamiento en Latinoamérica de iQOS, un dispositivo para calentar electrónicamente los cigarrillos con el que presuntamente se reduce el riesgo de fumar, una novedad contra la que los luchadores contra el tabaco ya están lanzando sus dardos... Es un dispositivo con una unidad con forma de bolígrafo en la cual se calienta los cigarrillos a 250 grados centígrados, a diferencia de los 800 grados de un cigarrillo convencional, evitando así la combustión y la producción de humo y ceniza”.

Preguntas:

- ¿Por qué razón se asegura que la diferencia de los grados centígrados con la que normalmente se calienta un cigarrillo convencional y la del dispositivo evita la producción de humo y ceniza?
- Al leer la frase “evitando así la combustión” que imagen del proceso se está ofreciendo a los lectores.

Situación problema 9:

Entre los productos industriales que se obtienen en las refinerías petroleras o los que diariamente se producen por la combustión de gasolina de los vehículos se pueden referenciar los óxidos de azufre y dióxido de carbono que lamentablemente influyen en la contaminación del aire y traen consigo cambios climáticos (recalentamiento de la atmósfera o efecto invernadero) y lluvia ácida

Preguntas:

- Con el propósito de reducir las emisiones de óxidos de azufre que procedimiento se debería realizar para contribuir con la disminución de estos.
- ¿Será que esos productos existen antes de la combustión?

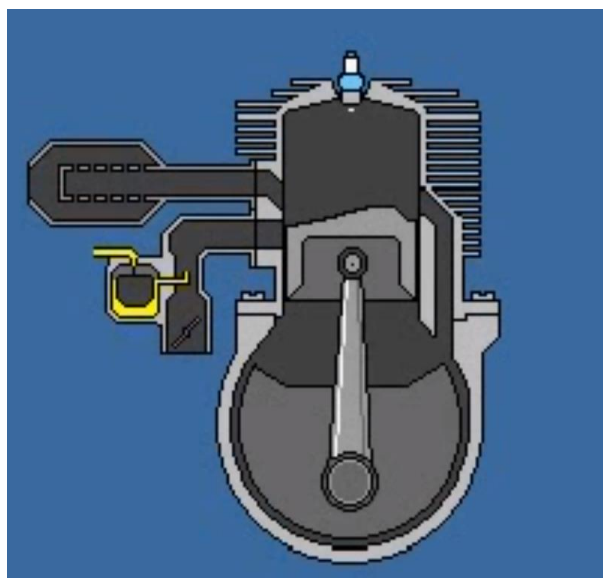
⁴⁴ Noticia tomada de <http://www.elespectador.com/noticias/salud/el-dispositivo-fumar-sin-haber-llegado-latinoamerica-ya-articulo-600424>

Situación problema 10:

El video de la Figura 3 corresponde al funcionamiento de un motor de dos tiempos, básicamente lo que se realiza es un proceso de recontextualización ya que a través de este se logra identificar los tres componentes de la combustión (combustible, comburente y chispa) y además los productos que se obtienen.

Figura 3.

Video Funcionamiento motor dos tiempos (<https://www.youtube.com/watch?v=e9-kRh1s18Y>)



Preguntas:

- De acuerdo al video que se acaba de presentar ¿cuáles creerías que son los productos obtenidos al final? Justifica tu respuesta
- En el video se identifica que la gasolina es uno de los facilitadores del funcionamiento del motor, si se cambia este por Gas Natural Vehicular (Metano) ¿cuáles creerías que son los productos obtenidos al final?
- Imaginémonos que el motor anterior pertenece a una moto y que estamos en un trancón donde existen decenas de motos y vehículos prendidos, bajo estas condiciones ¿cómo sería el rendimiento (combustión interna) de tu moto?

Situación Problema 11:

Históricamente la parte experimental de la química y sobre todo de la alquimia, estuvo asociada a la quema de polvos metálicos en los fuegos artificiales y a partir de la mitad del siglo XX, son usados para propulsar cohetes espaciales. Basado en esta idea, científicos y científicas de la Universidad McGill de Canadá están desarrollando una propuesta altera al

uso de la gasolina y consiste en utilizar polvos metálicos como una alternativa a este tipo de combustible fósiles para los vehículos⁴⁵.

Preguntas:

- De acuerdo a las características de la gasolina y los polvos metálicos (hierro, aluminio, boro, circonio), cuál sería el procedimiento para adecuar los automóviles que utilicen este nuevo material.
- Determinar cuáles serían las ventajas si se compara el uso de polvos metálicos con otras alternativas como el hidrógeno, los biocarburantes o las baterías.

7.4.1.4. Función de la chispa

La combustión no se efectúa simplemente por poner en conjunción el material combustible y el comburente ya que no es una reacción espontánea, existe una condición necesaria para que esto dé comienzo, en este caso, se puede destacar la función de una chispa, que en química recibe el nombre de *temperatura de ignición*, que es el mecanismo fundamental para dar inicio a la combustión y por ende mantener la llama sin añadir calor exterior. Al efectuarse la combustión, las partículas aumentan su actividad y el “calor producido se mantendrá por encima de la de ignición debido al carácter exotérmico de estas reacciones y esta continuará hasta que se agote el combustible o el comburente” (García-Arteaga & Marín, 2013, p. 82).

Las dos situaciones problema que se incluyen a continuación tienen una función *comprobatoria y para contrastar o confirmar hipótesis* ya que los estudiantes deben intervenir y proceder de tal manera que logren diseñar experimentos mediante los cuales logren estudiar el fenómeno.

Situación problema 12:

Una alternativa para producir llama consiste en agregar 100 gramos de cal viva (óxido de calcio), luego se mezcla con 50 gramos de azufre, sobre ellos pones materiales a encender (madera o carbón), dejas caer agua sobre la cal y azufre mezclados anteriormente y en instante veras como surge llama.

Pregunta:

- Elabora una explicación del porqué surge llama cuando se deja caer agua en la mezcla anterior

Situación problema 13:

⁴⁵ Situación elaborada a partir de la información obtenida de <http://www.tendencias21.net/?preaction=mobile>.

Formular situaciones problema que permitan el desarrollo de la creatividad y el emprendimiento de nuevas acciones o procedimientos es fundamental para la producción de conocimiento químico. En esta ocasión se retoma la importancia de diversificar los materiales que componen la vela, aunque siempre se debe buscar la manera de identificar la función de la chispa en la producción de la combustión. En este sentido se debe avanzar hacia el cambio del pabilo, la parafina y sobre todo la manera tradicional de encender la vela.

Preguntas:

- ¿Es posible producir llama sin la presencia de aire?
- ¿Cómo verificar experimentalmente que la chispa es fundamental para producir la combustión?
- ¿Cómo identificar que un material combustible puede emitir fácilmente fuego?

7.4.2. Aislamiento de los gases

El aislamiento de los gases está fuertemente relacionada con la reacción de combustión ya que históricamente fue uno de los hechos científicos que sirvió para impulsar el desarrollo de procedimientos experimentales, el diseño y uso de instrumentos y el planteamiento de modelos sobre los gases que se obtenían, además, significó en su momento la caracterización y recolección de los gases. En la actualidad el amplio y perfeccionado desarrollo de la experimentación química, ha servido para lograr el aislamiento térmico de los gases de combustión para reducir las pérdidas de calor, para controlar la temperatura de los gases, para evitar condensaciones que puedan producir ácidos que aceleran corrosión, reduciendo la vida útil y la funcionalidad del sistema en su conjunto (Isover, 2015).

7.4.2.1. Recolección de gases

En lo correspondiente a la recolección de los gases, su valor significativo radica en que es un insumo para promover la manipulación de materiales y al desarrollo de procedimientos necesarios para “capturarlos” y posteriormente efectuar la caracterización de los mismos. La recolección de los gases debe visualizarse como una oportunidad para desplegar diferentes actividades experimentales mediante las cuales se puedan analizar situaciones problema tanto de carácter histórico como las recontextualizadas para posteriormente diseñar nuevos procedimientos en los que logren sincronizar tanto el lenguaje, el conocimiento y la experiencia. Las tres situaciones problema siguientes tienen una función *exploratoria*, *comprobatoria* y *para contrastar o confirmar hipótesis*, por ello el profesor debe ser ampliamente creativo para lograr interesar y permitirle a los estudiantes el reconocimiento de aspectos experimentales y del lenguaje que hacen parte del conocimiento químico.

Situación problema 14:

En el plano experimental de la historia de la combustión los esfuerzos que se realizaron inicialmente incorporaban sustancias sólidas y líquidas debido a que se podían caracterizar fácilmente por observación directa. La manipulación de estas sustancias permitió el diseño y uso continuo de aparatos mediante los cuales lograron avanzar hacia el análisis e identificación de las mismas, además, sirvió para “capturar”, “atrapar” y “cazar” los aires (gases) que se liberaban. Este proceso significó tanto el perfeccionamiento como el rediseño de los instrumentos que utilizaban. En esta medida lo que se pretende ahora es llevar a cabo una experiencia en la que reaccionaran amoníaco (NH_3) y ácido clorhídrico (HCl) para producir gas blanco. La obtención del amoníaco es a partir de la reacción entre cloruro de amonio (NH_4Cl) y el hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) y la del ácido clorhídrico es a partir de bisulfito de sodio ($NaHSO_3$) y cloruro de sodio ($NaCl$)

Preguntas:

- Elaborar las explicaciones que permitan indicar las razones para obtener un gas de color blanco.
- De acuerdo a la serie de reacciones entre las sustancias antes mencionadas cuál es el nombre del gas blanco.
- ¿Qué procedimiento instrumental realizarían para lograr la recolección del gas blanco?
- Las reacciones anteriores se efectúan a temperatura ambiente, qué sucedería si existiera un aumento de la misma.

Situación problema 15:

En esta oportunidad estableceremos la reacción entre yodo, zinc y agua. Para iniciar se colocaremos el yodo en un crisol y procedemos a triturarlo, posteriormente se le adiciona zinc y lo mezclamos, para terminar se agrega una pequeña cantidad de agua.

Preguntas:

- ¿Qué ha ocurrido con la mezcla?
- En caso de que la mezcla se realice a una temperatura diferente a la inicial cuáles serían los cambios que deberían esperarse.
- Diseñar un instrumento que permita capturar el gas emitido en la reacción.

Situación problema 16:

El procedimiento que realizaba Henry Cavendish para determinar los gases que obtenida a partir de las reacciones químicas que efectuaba consistía en acercar la llama de una lámpara a los productos gaseosos que “capturaba”, a uno de ellos lo denomino aire inflamable que en la actualidad es conocido como hidrógeno. Su procedimiento consistía en la disolución de zinc en ácido sulfúrico mezclado con aire común.

Preguntas:

- ¿Existen diferentes especies de aire?
- ¿A qué se debe la intensidad de la llama?
- ¿Qué se libera de la mezcla?
- Debido a que es importante determinar la cantidad de los reactivos, es importante determinar las proporciones de los mismos, por ello, lo que se debe realizar y diseñar es el montaje instrumental que permita la identificación de estas proporciones.

7.4.2.2. Características de los gases

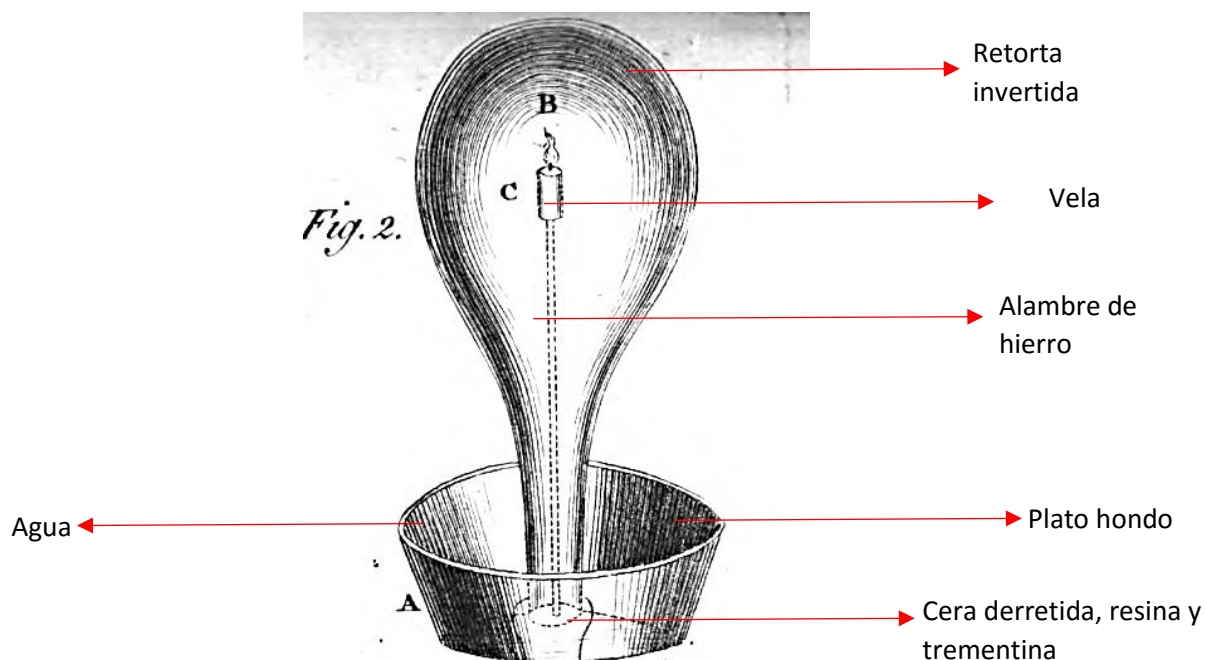
Históricamente los procesos de combustión fueron una fuente importante de información para el análisis químico ya que algunos de sus productos incluían el desprendimiento de gases que posteriormente fueron caracterizados a partir de su comportamiento y evidencias observacionales cuando eran utilizados para avivar la llama o como el medio para sostener la respiración de los animales. En este caso, el núcleo de actividades que se incluyen a continuación está orientados hacia la identificación de características macroscópicas que se pueden observar a simple vista. Las dos situaciones problema subsiguientes cumplen una función *exploratoria y para contrastar o confirmar hipótesis*, en este caso los estudiantes deben proceder de tal manera que apliquen el conocimiento y lenguaje químico a través de los diseños de nuevas prácticas experimentales.

Situación problema 17:

En la historia de la química uno de los experimentos que es ampliamente referenciado y replicado es el que se realiza con la vela, esto se puede evidenciar en la siguiente narración de (Scheele (1780, p. 19):

Puse una vela encendida en un plato lleno de agua, y luego cubrí la vela con una retorta invertida: inmediatamente después de esto, grandes burbujas de aire salieron del agua, que fueron causadas por el aire expandido por el calor en la retorta; cuando la llama disminuyó en tamaño, el agua comenzó a aumentar en la retorta; después de que el fuego se extinguió, y la retorta se enfriara, encontré que su cuarta parte estaba llena de agua (fragmento de un experimento tomado del libro *Chemical observations and experiments on air and fire*).

Figura 4. Instrumentos utilizados por Scheele. Fuente: tomada de Scheele (1780)



Preguntas:

- ¿De qué manera influye el medio en la combustión?
- ¿Basta con que un cuerpo se halle en estado de expansibilidad para que constituya una especie de aire?
- Si tuvieras que determinar los gases que componen el aire atmosférico ¿qué procedimientos experimentales realizarías?
- Realizar variaciones al experimento elaborado por Scheele para determinar la importancia y las características del aire.

Situación problema 18:

Joseph Priestley (1775, p. 44) con el propósito de determinar la composición del aire realizó el siguiente experimento:

Si el azufre quemado en las mismas circunstancias, el agua de cal continúa transparente, pero aún no puede haber sido la misma precipitación de la parte fija del aire; pero que, uniéndolo con la cal y el ácido vitriólico, se forma una sal selenética, que es soluble en agua. Habiendo evaporado una cantidad de agua impregnada, por la quema de azufre un gran número de veces, un polvo blanquecino permanecido, tenía un sabor ácido; pero repitiendo el experimento con una evaporación más rápida, el polvo no tenía la acidez, pero era muy parecido a la tiza (fragmento de un experimento tomado del libro *Observations on different kind of air*).

Pregunta:

- Teniendo en cuenta que la importancia del estudio del fenómeno de la combustión y sobre todo su efecto en la caracterización de los gases, rediseñar el experimento de Priestley teniendo en cuenta los materiales e instrumentos actuales.

7.4.3. Discrepancia entre la masa de los metales y sus productos

Como se presentó en los resultados y su respectivo análisis, los metales y en especial su incineración fueron uno de los principales epicentros en el análisis químico. Los científicos lograron establecer que lo que le acontecía en la incineración de los metales era un proceso similar al que le ocurría a las sustancias orgánicas cuando eran quemadas debido a que ambos procesos estaban mediados por el aire. Otro de los factores que también los “sedujo” fue que a diferencia de los productos de las sustancias orgánicas que no se podían reutilizar, los de la incineración de los metales si se podían reutilizar. Esta situación fue la que permitió desplegar dos panoramas investigativos en el estudio de la incineración de los metales, por un lado estaba la combustión lenta o calcinación de los metales y por otro la reducción de los óxidos metálicos.

7.4.3.1. Combustión lenta o calcinación de los metales

Históricamente la experimentación química permitió determinar que en este panorama investigativo los resultados indicaban una discrepancia entre la masa del metal que se calcinaba y los óxidos que se obtenían. Estos datos eran asincrónicos con las explicaciones que se habían elaborado ya que se interpretaba que al final de la calcinación, los productos tendrían un peso menor que metales iniciales, sin embargo, en los datos se identificaba todo lo contrario. Desde este panorama, el núcleo de actividades que se diseñen, debe permitir el establecimiento de relaciones entre la combustión donde se emiten llamas y calcinación de metales, además, es una excelente oportunidad para reflexionar sobre la importancia del oxígeno en dichos procesos. Estas tres situaciones que se incluyen son de tipo *exploratorio* y sirven para que el profesor reconozca el conocimiento químico que adquirieron los estudiantes.

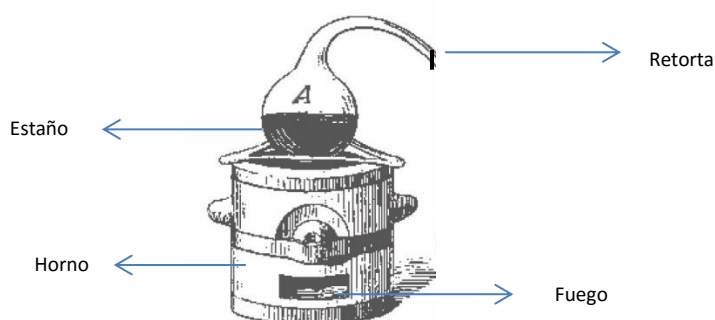
Situación problema 19:

En la Figura 1 podemos identificar el montaje experimental que Lavoisier describió de la siguiente manera:

“Tomé una de las retortas (*recipiente cursiva nuestra*) cuyo cuello había sido estirado hasta formar un tubo capilar. Esta retorta contenía 8 onzas de estaño y la puse sobre el fuego. Continué el calentamiento hasta que el estaño comenzó a fundirse, entonces, sin retirar la retorta del fuego, hice cerrar con un soplete la abertura capilar del extremo del cuello, y luego hice enfriar el vaso tan lentamente como lo había

calentado. Procedí a la calcinación, la retorta fue puesta en el fuego, el estaño se fundió completamente, la superficie perdió el brillo que tenía en el primer momento, cubriéndose de una película que, poco a poco, se hizo consistente y rizada; al mismo tiempo se formaron unos copos negros. Poco tiempo después, noté que se depositaba en el fondo del vaso, bajo el estaño, un polvo negro más pesado que el metal en fusión” (Experimento tomado de la *Memoria sobre la calcinación del estaño en vaso cerrado y sobre la causa del aumento del peso que este metal experimenta durante la operación* escrito por Lavoisier en 1774).

Figura 1. Montaje experimental realizado por Lavoisier.



Preguntas

- ¿Qué reactivos y productos están presentes en el experimento?
- ¿Por qué razón el polvo negro se deposita en el fondo del vaso?
- ¿Qué pasaría si en el experimento anterior no se hubiera cerrado la abertura capilar del extremo del cuello de la retorta?

Situación Problema 20:

Al igual que la situación anterior, otro experimento que puede ser útil para evidenciar la discrepancia entre la masa del metal y su producto consiste en la quema de magnesio elemental, el cual al finalizar produce un polvo blanco.

Preguntas:

- ¿Qué garantías existe de que los productos de una reacción aporten información acerca de la sustancia original?
- ¿Qué interpretaciones se pueden elaborar a la diferencia de masa entre los productos y los reactivos?
- ¿Qué causa el aumento de peso de los metales?
- ¿Qué procedimientos experimentales serían necesarios para calcinar los metales?
- ¿Será posible realizar la calcinación de los metales mediante el uso de la luz del sol?

- ¿Qué explicaciones elaborar para el aumento de peso de los metales?
- ¿Si se cambia el tamaño del recipiente donde se efectúa la calcinación que cambios se identificarían en el metal?
- ¿Si la calcinación de un metal se llevará a cabo en una bomba de vacío que cambios se lograrían identificar?
- ¿Si se realizará la calcinación en un recipiente saturado con un gas diferente al oxígeno también se obtendría un aumento de peso?

Situación Problema 21:

El uso del mercurio trae consecuencias para la salud, por ello acudir a la réplica de experimentos históricos como los que realizaba Lavoisier, Priestley y Scheele no es recomendable, sin embargo, lo importante que se debe destacar de lo que ellos efectuaban era el estudio del fenómeno de la calcinación y sobre todo el establecimiento de relaciones con la combustión. En este sentido lo que se pretende es avanzar hacia la observación de evidencias mediante las que se logre identificar cambios entre la masa del metal con el que se inicia y los productos que se obtienen, por lo tanto, lo que se realizará experimentalmente en esta situación es la quema de lana de hierro. Procedimentalmente se debe promover la búsqueda y variación de las condiciones iniciales en las cuales se quema la lana, además, se deben elaborar comparaciones con metales distintos para poder establecer comparaciones.

Preguntas:

- ¿Por qué la masa parece que disminuye en las combustiones y en cambio aumenta en las calcinaciones?
- Elaborar las explicaciones necesarias para determinar las razones o causas del aumento o pérdida de masa de los metales.
- Experimentalmente existen diferencias y semejanzas entre calcinación de los metales y fundición de metales.
- ¿Qué cambios se podrían realizar a partir del calentamiento de los metales?
- Todos los metales son calcinables
- ¿La cantidad de metal utilizada afecta o favorece el proceso de calcinación?
- Imaginemos que tenemos en un recipiente cerrado herméticamente una cantidad suficiente de hierro y oro. Este sistema es llevado a un horno para someterlo a calor. ¿Cuál de los dos metales se calcinará primero y por qué? ¿Cuáles serían las explicaciones que darías para lo que ocurre?

7.4.3.2. Reducción de óxidos metálicos

En este caso el panorama investigativo vincula actividades experimentales que tenían el propósito de recuperar el metal que inicialmente había reaccionado. Lo que se pretende aquí con las actividades que se incorporen aquí es que se logre identificar la existencia de reacciones reversibles e irreversibles. Estas tres situaciones que se incluyen son *demostrativas, comprobatorias, mostrativas y para contrastar o confirmar hipótesis.*

Situación Problema 22:

Uno de los científicos que tuvo como propósito la recuperación de los metales a partir de sus óxidos fue Sthal (1766, citado por Metzger, 1974, p. 169), el procedimiento de reducción lo narró así:

... si metemos poco o mucho de esta ceniza en un crisol y lo exponemos al fuego violento sin hacer caer el carbón, el no sufrirá ninguna alteración; y si juntamos vidrio fundido, él se quedara siempre como una ceniza..., si, cuando esta ceniza está cubriendo la superficie del estaño fundido, juntamos, supongamos aceite, pez, una resina sacada de los vegetales, sebo, otra grasa sacada de los animales, lo movemos con un palito, esta ceniza se fundirá de nuevo, y se reunirá con el estaño restante.

Preguntas:

- Determinar las razones por las cuales la ceniza que utilizó Stahl logró reducirse a su metal inicial.
- Si se realizara el mismo experimento en un sistema cerrado se lograría obtener el metal inicial.

Situación Problema 23:

Experimentalmente en la historia de la química el trabajo con óxidos metálicos también implicaba procedimientos instrumentales y exigencias teóricas que permitieran la obtención de los metales y la conceptualización de los mismos. En esta oportunidad lo que se pretende es analizar la siguiente situación: a partir de los óxidos de metales como hierro, cromo, manganeso y estaño se pueden extraer sus metales y en el caso de la recuperación de plomo y zinc primero se obtienen los óxidos de las minas de sus sulfuros.

Preguntas:

- Explicar por qué razón existen diferencias entre el procedimiento de obtención de los metales mencionados.
- Diseñar y sustentar un procedimiento instrumental que permita la reducción de algunos de los óxidos antes mencionados.

Situación Problema 24:

Al igual que Stahl, Lavoisier emprendió la actividad científica experimental correspondiente a la reducción de óxido de mercurio (*mercurio precipitado per se*) para lo cual procedió de la siguiente manera:

pusé en una retorta, también de dos pulgadas cúbicas de capacidad, 1 onza (unos 30 gramos) de mercurio precipitado per se, sin ningún agregado; dispuse el aparato en la misma forma que para el experimento anterior y procedí de modo que todas las circunstancias fueran exactamente las mismas. Esta vez la reducción se hizo un poco más difícilmente que por la

adición de carbón; requirió más calor, y no hubo efecto sensible hasta que la retorta comenzó a enrojecer ligeramente; entonces el aire se desprendió y, poco a poco, pasó a la campana. Manteniendo la misma fuerza del fuego durante dos horas y media, se redujo la totalidad del mercurio.

Terminada la operación, se encontró que, por una parte, tanto en el cuello de la retorta como en el vaso de vidrio que había colocado debajo del pico y dentro del agua había 7 adarmes, 18 granos (27.66 gramos) de mercurio líquido; y por otra parte, la cantidad de aire que pasó a la campana era de 78 pulgadas cúbicas (1.540 mililitros); de lo que resulta que, suponiendo que todo el peso perdido debe atribuirse al aire, cada pie cúbico debía pesar un poco menos de $\frac{2}{3}$ de grano, lo que no se aleja del peso del aire común.

Preguntas:

- ¿Cómo recuperar los metales a partir de los productos obtenidos de la calcinación?
- ¿Cómo recuperar el metal que inicialmente se calcino?
- Establecer relaciones entre la situación problema realizada por Lavoisier con la que se efectúa actualmente en metalurgia.

8. CONCLUSIONES

A manera de introducción se puede iniciar destacando que el objeto de estudio consistió en formular aportes para la enseñanza de la química a partir del estudio histórico filosófico de la experimentación química para profesores en formación inicial, en ese sentido, la recolección de la información a través de los instrumentos de recogida de datos (*TCH* y cuestionario) estuvo determinada por los objetivos específicos de la investigación. Evidentemente los resultados y su análisis también requirieron una amplia conceptualización, los cuales integraron la propuesta programática que se diseñó.

De acuerdo a lo anterior, a continuación se esbozan de manera sintética aquellas ideas que emergen del proceso analítico del problema de investigación y los respectivos resultados que se obtuvieron a través de los diferentes instrumentos de recolección que integraron el componente metodológico.

Se inicia con las conclusiones referentes al *estudio histórico filosófico de la experimentación*, se hace énfasis en aquellos episodios históricos por los que atravesó la combustión, los hechos científicos que a la postre integraron la propuesta programática diseñada y la importancia que tuvo para el diseño del cuestionario que fue aplicado a los *PFICN*.

Seguidamente, se incluyen conclusiones sobre las *explicaciones de los profesores en formación inicial en ciencias naturales*, se sustentan ideas relacionadas con los hallazgos sobre el conocimiento químico, la experiencia y el lenguaje químico.

Paso seguido se determinan algunos parámetros que se deben tener en cuenta en el *diseño de una propuesta alterna de programación para la enseñanza de la química* la cual estuvo enriquecida a partir de los resultados del estudio histórico filosófico y la las respuestas dadas por los futuros profesores de ciencias, en esta medida, se hace explícita un solo apartado dedicado a la profundización sobre la perspectiva didáctica que orienta la propuesta.

Asimismo se incorporan ideas relacionadas con la *metodología de investigación* mediante la cual se estructuró las etapas, los instrumentos de recolección de información, el contexto de investigación y el procesamiento de análisis de este estudio. Igualmente se establecen los *aportes relevantes para la línea de investigación* a la cual se adscribe esta tesis doctoral, es decir, el uso de la historia y filosofía de la ciencia en la enseñanza de la ciencia.

Para finalizar, se describen algunas *perspectivas para investigación futuras* que podrían llevarse a cabo en contextos académicos universitarios similares, así como, complementar los resultados con otros aspectos relacionados con el aprendizaje y la evaluación, que todavía deben profundizarse.

8.1. Acerca del estudio histórico filosófico de la experimentación

Al considerar el primer objetivo específico mediante el cual se pretendía realizar el estudio histórico filosófico de la experimentación asociada a la combustión, se puede determinar que la tendencia existente respecto a la historia de la ciencia y la filosofía de la ciencia consiste

en atribuir los diseños, creaciones, descubrimientos e interpretaciones específicamente al ingenio y creatividad de un científico, sin embargo, se desconoce que la ciencia por ser una actividad humana tiene implícito la colectividad, por ende incluye aspectos como la curiosidad, la reflexión, la comunicación y sobre todo la socialización, en este sentido los elementos determinantes que es importante destacar son:

La identificación y caracterización de los episodios históricos fue uno de los aportes significativos de este estudio ya que representaron una manera dinámica de forjar la integración, el trabajo grupal y la articulación derivado de los diferentes aportes teórico experimentales que los científicos y científicas proponían y sustentaban, con esto se trasciende la visión fragmentada y estática que continuamente es promovida a través de los diferentes ámbitos y contextos académico, investigativos y de divulgación científica. Igualmente, a través de estos se identificó que los científicos y científicas eran sujetos normales que eran envidiosos, prepotentes, orgullosos y en algunos casos por sus limitaciones y equivocaciones se veían en la tarea de contactar a otros para comunicar lo que habían interpretado y la manera cómo lo habían hecho.

Inherente a los episodios históricos también fue relevante destacar los diferentes hechos científicos que emergieron y que fueron los que orientaron, facilitaron y permitieron el planteamiento de las interpretaciones del fenómeno, el desarrollo y perfeccionamiento de los procedimientos y por ende de instrumentos y materiales que utilizaban para el estudio y problematización de la combustión.

A través de los episodios históricos y los hechos científicos fue evidente la interrelación constante entre experimentación y teoría como un eje que iba en ambas direcciones y que su frecuencia de uso dependía de las necesidades y problemáticas propias del estudio de la combustión. La incorporación de estos elementos de índole histórico sirvieron para determinar los núcleos temáticos de la propuesta diseñada y algunos de los objetivos que la orientaron.

En términos educativos y relacionados con el diseño de la propuesta, las ideas anteriores fueron significativas para formular situaciones problema en las que se logró integrar aspectos de índole teórico experimental que en la actualidad son relevantes para la comprensión del conocimiento químico que a través de ella se puede adquirir. Es importante que para la elaboración de dichas situaciones problema se tuvo en cuenta el grado de apertura de las preguntas, el objetivo que debía alcanzarse, los aspectos del componente disciplinar y el procedimiento que se indagaría, de esta manera, se lograba diferenciar actividades que normalmente se emplean en las clases de química universitarias donde lo fundamental es la memorización de definiciones, ecuaciones y la resolución de ejercicios.

8.2. Acerca de las explicaciones de los profesores en formación inicial en ciencias naturales

Al retomar el segundo objetivo específico que correspondía caracterizar las explicaciones dadas como fuente de información de los profesores en formación inicial en ciencias naturales sobre la combustión, se puede concluir que a partir de los hallazgos que se obtuvieron en función de las explicaciones de los *PFICN* permitieron establecer conclusiones como las siguientes:

Fue indudable la existencia de un acercamiento histórico entre algunas de las ideas de los científicos y las de los estudiantes, en ambos casos se establecieron conexiones acerca de la manera de comprender la función que desempeñan la chispa, el oxígeno, el material combustible y los productos que se obtienen a partir de la combustión, por ello, es recomendable en futuras investigaciones avanzar hacia la contrastación entre dichas ideas, ya que se podrían obtener nuevos elementos referentes a los obstáculos, dificultades y para diseñar maneras alternativas de solucionarlas o resolverlas.

Respecto al conocimiento químico que han adquirido los *PFICN* se puede concluir que existe una hibridación debido a la formación adquirida por ellos ya que elaboran respuestas en las cuales visualizan la combustión como modificación, transmutación y reacción química, esto es contradictorio porque se esperaría que después de haber cursado y aprobado las asignaturas de química del programa académico de licenciatura, estén en la capacidad de elaborar explicaciones en las que indiquen la relación de esos ejes, otra irregularidad es que algunos no visualizan la calcinación como una transformación sino como una liberación de sustancias, no reconocen al agua como uno de los productos de la combustión, no destacan la importancia de la chispa en este tipo de reacción química y no se identificaron respuestas correspondientes a la reversibilidad e irreversibilidad de las reacciones, aunque existen este tipo de limitantes conceptuales, es pertinente establecer acciones en la enseñanza de la química que permita reconocerlas para posteriormente superarlas.

En cuanto a la experiencia entendida como las acciones afines con la parte experimental que los *PFICN* transmitían por medio de sus escritos se logra concluir que es necesario promover reconstrucciones experimentales por medio de narrativas experimentales que no se limiten en presentar el método científico sino que diversifiquen procedimientos experimentales, se desarrollen habilidades manipulativas y se reflexione sobre las actividades prácticas, cuando se logre lo anterior, se dará un paso fundamental en la articulación entre la teoría y la experimentación, por ello es necesario que los *PFICN* socialicen al interior de las clases de química para construyan el conocimiento que hace parte de cada uno de los instrumentos y los materiales que acompañan la experimentación, en última instancia, se debe promover la elaboración de experimentos mentales como una estrategia para visualizar, predecir y generar nuevos escenarios en los cuales puedan observar diversos comportamientos de los materiales e instrumentos que utilizan en los experimentos.

En la base estructural de los dos elementos anteriores se identificó la desarticulación del lenguaje en los *PFICN*, esto se debe a que la comprensión, uso y aplicación es fragmentada ya que no se construyen y apropian en la práctica escrita ni dialogada sino a raves de la memorización de definiciones que no tienen sentido ni son significativas para su formación. Esta dificultad es promovida y potenciada por la infructuosa manera como es concebida la

terminología y las reglas que componen y estructuran la nomenclatura química que es el fundamento esencial para establecer comunicación y explicación del fenómeno de la transformación química y particularmente de la reacción química como el eje del análisis, la sustitución y la síntesis química.

8.3. Acerca de la metodología de investigación

La metodología de investigación cualitativa y su correspondiente diseño resultaron adecuados tanto para la recolección de la información como la interpretación de las categorías, subcategorías y códigos que emergieron, fue así como los *TCH* y el cuestionario fueron los instrumentos ideales para el proceso de recuperar los datos para su posterior análisis.

Respecto a los *TCH* se pueden considerar como una fuente de información invaluable porque son la fuente original y primaria en la cual los científicos plasman sus ideas, interpretaciones teóricas, materiales y procedimientos experimentales que sirvieron para la comprensión del fenómeno de la combustión, en términos educativos, constituyen una fuente de información para elaborar situaciones problema recontextualizados que permitan el estudio de dicho fenómeno. Estos documentos hacen evidente las limitaciones y dificultades con que los científicos y científicas convivían constantemente antes de elaborar interpretaciones, esta situación es ideal para indagarse a nivel académico ya que permite desmitificar la ciencia y ubicarla en un nivel alcanzable para todos y todas. Igualmente, los *TCH* son un insumo para acercar al nivel macroscópico a los *PFICN* ya que los experimentos y las problemáticas sirven para la comprensión fenomenológica.

El *AHC* tomando como base la propuesta de Pickering también es importante destacarlo porque puede servir como un recurso que permite concebir la experimentación en ciencias de manera diferente a lo que normalmente se ofrece en las prácticas de laboratorio que se llevan a cabo en las respectivas asignaturas, es más, el dialogo con los científicos y la formulación constante de preguntas para intervenir los documentos fue útil porque a través de estas se logró construir el cuestionario que posteriormente se aplicó a los *PFICN*.

En relación con el cuestionario es transcendental destacar dos aspectos, el primero corresponde a la inclusión de situaciones problema que fueron producto del *AHC*, la información que ellas contenían incluían los aspectos teórico experimentales necesarios para la comprensión de la combustión como una reacción química. El segundo aspecto está asociado con las preguntas abiertas que los *PFICN* debían responder, este tipo de preguntas permiten recolectar y recuperar mayor información e ideas de los participantes ya que en ellas se logra rastrear o inspeccionar vestigios de la manera como han articulado el conocimiento químico y todo lo que ello implica en términos teóricos, experimentales y de lenguaje.

El software ATLAS.ti fue un recurso tecnológico indispensable para la tabulación, categorización, codificación y el posterior análisis de la información que se obtuvo en los

cuestionarios, de lo contrario, el procedimiento puede volverse lento y en algunos casos ineficiente por la gran cantidad de datos que se pueden recolectar.

Así mismo la triangulación de la información también fue imprescindible para el establecimiento de relaciones entre la información proveniente de los *TCH* y el cuestionario ya que permite cruzar los datos y extraer puntos de encuentro y concordancia que posteriormente fueron recuperados en el diseño de la propuesta alterna de programación para la enseñanza de la química.

8.4. Acerca del diseño de una propuesta programática alterna para la enseñanza de la química

Las conclusiones que se indican a continuación están enfocadas hacia el objetivo específico mediante el cual se pretendía diseñar una propuesta programática alterna de enseñanza de la química para profesores en formación inicial de ciencias naturales. De acuerdo a lo que se ha planteado hasta el momento se puede concluir que la propuesta de programación para la enseñanza de la química que se diseñó se diferencia fundamentalmente de otras ya que relaciona los aportes provenientes del uso de la historia y la filosofía de la experimentación química, del enfoque de construcción de significados y de la teoría de contenidos que en la actualidad está siendo potenciada en el campo de la didáctica de la química.

Al revisar y analizar la manera como se organizan y estructuran los bloques programáticos, se puede destacar que tiene como base los hechos científicos que se identificaron en el análisis histórico crítico de la experimentación química de la combustión y que no tiene nada que ver con la manera tradicional, mecánica, repetitiva y descontextualizada como se presenta la química en la actualidad. Las actividades que integran la propuesta están direccionadas de tal manera que los *PFICN* exploren y diversifiquen el razonamiento, los aspectos analíticos, de escritura y comunicativos que favorezcan la socialización con otros integrantes de la comunidad de profesores que conformaran, así como con los estudiantes a los que orientarán en sus clases para que comprendan contextos conocidos y diversos y que logren relacionar lo aprendido con la cotidianidad.

Es importante potenciar el diseño y la reconstrucción de experimentos, es decir, a través del análisis de los diferentes elementos que conforman un experimento los *PFICN* avancen hacia la visualización de nuevas aplicaciones mediante los cuales logren estudiar el fenómeno químico.

En concordancia con lo anterior, la escritura adquiere significado en la medida que los *PFICN* partan de descripciones experimentales hacia explicaciones experimentales de los fenómenos que se están estudiando, para ello, la imaginación debe ser dinámica, creativa y propositiva para que se observen detalles minúsculos que posiblemente ofrezcan mayores elementos y ayuden en la construcción de conocimiento químico.

La enseñanza de la química que se oriente a los *PFICN* debe estar abierta a todos los cambios y aportes que se establezcan a partir de las investigaciones que se realizan, es así como debe

propenderse por diversificar la manera como tradicionalmente se ha enseñado, una manera alterna de estructurar propuestas fue la que aquí se utilizó y que se denomina en la literatura académica como teoría de contenidos. Esta perspectiva didáctica debe continuar fundamentándose a través de nuevos estudios en los que participen futuros profesores de ciencias ya que ellos serán los encargados de orientar las actividades académicas que se realizarán en las aulas de clase de las instituciones educativas.

Elementos como los objetivos, los núcleos temáticos, los criterios para conectar con otros conocimientos y los procesos de justificación o procesos epistemológicos que constituyen los elementos que hacen parte de esta perspectiva didáctica, son significativos para los procesos de enseñanza ya que se distancian de aquellas perspectivas en las que únicamente existe interés en los contenidos conceptuales o en la adquisición de habilidades fragmentados y descontextualizados.

Como se presentó en esta tesis, el sentido de los elementos de esta perspectiva didáctica tomo forma a partir de las relaciones entre la didáctica de las ciencias, la historia de la ciencia y la filosofía de las ciencias, las cuales se estructuraron para lograr la construcción de significados en los *PFICN*.

Sin lugar a dudas, esta perspectiva didáctica enfocada en futuros profesores es incipiente, por ello debe consolidarse para la enseñanza de la química, la física y la biología, buscando con ello que los participantes adquieran el conocimiento, la experiencia y el lenguaje inherente a las ciencias útil y necesario para comprender el mundo y sobre todo que las actividades científicas hace parte de una actividad humana.

8.5. Aportes relevantes para la línea de investigación

En relación a la línea de investigación denominada uso de la historia y filosofía de la ciencia en la enseñanza de la ciencia se puede destacar algunas ideas que abren caminos prominentes para futuras investigaciones en el campo de la didáctica de las ciencias y en la que participen futuros profesores de ciencias naturales.

La primera idea que se subraya a partir de esta tesis es la bidireccionalidad que existe entre la teoría y la experimentación química, es decir, se debe propender que los *PFICN* comprendan que en los procesos de producción de conocimiento químico el uso de modelos explicativos, conceptos y leyes están en sincronía con aspectos experimentales como el diseño de instrumentos, la descripción de procedimientos, y la imaginación de experimentos, por ello, si la dinámica académica universitaria y en especial las asignaturas que matriculan los *PFICN* logra vincular este tipo de relación, se avanzaría hacia la superación de la fragmentación que ha existido entre teoría y experimento.

La segunda idea que es pertinente destacar es continuar con la identificación de episodios históricos y hechos científicos asociados a campos disciplinares como la física y la biología ya que ellos pueden conformar núcleos temáticos que se diferencian de los contenidos

conceptuales que tradicionalmente se emplean en las asignaturas de química que ofrecen el conocimiento químico que aprenderán los *PFICN*.

La tercera idea está orientada con el diseño de actividades, como por ejemplo las situaciones problema, las cuales se elaboran a partir de los hallazgos del estudio histórico filosófico de las ciencias, así mismo, se deben emplear fragmentos de *TCH* para que los *PFICN* los analicen y determinen la vinculación e integración de la teoría y el experimento, comparación entre el lenguaje químico empleado en una época determinada con el que se utiliza en la actualidad, caractericen los fenómenos que estudiaban los científicos, determinen los procedimientos experimentales e instrumentos científicos que describían.

8.6. Perspectivas para investigaciones futuras

Es fundamental que en próximos estudios se complemente la propuesta con otros elementos que incorporen mayores elementos relacionados con componentes del aprendizaje, la evaluación, lo socioambiental, entre otros que harán parte del desarrollo profesional de los *PFICN*, así mismo, se debe avanzar hacia la aplicación de la misma con el propósito de identificar en los resultados los alcances, las limitaciones y los nuevos ajustes que se deben tener en cuenta para iniciar una reestructuración de la manera tradicional como se ha venido promoviendo el conocimiento químico en los *PFICN*.

De igual manera es primordial y necesario que se continúe con la estructuración programática del conocimiento químico que es inherente a la sustitución y la síntesis, es decir, se debe continuar profundizando en estudios de casos históricos vinculados con aquellos conceptos estructurantes que permitieron el desarrollo de la sustitución en la química orgánica y de la síntesis de nuevas sustancias químicas, de esta manera se complementaría en amplia medida los tres programas de investigación de la química.

LISTA DE REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alzate, M. V. (2005). Elemento, sustancia simple y átomo: Tres conceptos problemáticos en la Enseñanza y aprendizaje significativo de conceptos químicos. *Revista Educación Y Pedagogía*, XVII(43), 177–194.
- Amador, R. (2006). *Del modelo del flogisto al modelo de la oxidación. Una aproximación didáctica a la determinación de modelos mentales en la formación de profesores en química*. Universidad Pedagógica Nacional.
- Amador, R., Gallego, R., & Pérez, R. (2008). Desde qué versiones epistemológicas construyen modelos mentales los profesores en formación inicial: una investigación didáctica. *Tecné, Epistémé Y Didaxis*, (24), 8–22. Retrieved from <http://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/388>
- Anderson, R. G. W. (2005). Instruments and Apparatus. In C. A. Russell & G. K. Roberts (Eds.), *Chemical History Reviews of the Recent Literature* (pp. 215 – 229). Cambridge: The Royal Society of Chemistry.
- Andersson, B. (1986). Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions. *Science Education*, 70(5), 549–563.
- Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18(1), 53–85.
- Aragón-Méndez, M. del M. (2007). La ciencias experimentales y la enseñanza bilingüe. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 4(1), 152–175. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=23843476&lang=es&site=ehost-live>
- Arcá, M., Guidoni, P., & Mazzoli, P. (1983). Structures of understanding at the root of science education Part I. Experience, Language and knowledge. *European Journal of Science Education*, 5(4), 367–375.
- Arcá, M., Guidoni, P., & Mazzoli, P. (1990). *Enseñar ciencia. Cómo empezar: reflexiones para una educación científica de base* (Primera ed.). Barcelona: Ediciones Paidós.
- Arias, M. M. (2000). La triangulación metológica: sus principios, alcances y limitaciones. *Investigación Y Educación En Enfermería*, XVIII(1), 13–26.
- Ariza, L., & Parga, D. (2011). Conocimiento didáctico del contenido curricular para la enseñanza de la combustión. *Educación Química*, 22(1), 45–50.
- Arrieta, X., Marín, N., & Niaz, M. (2003). Condiciones de enseñanza para el aprendizaje de contenidos procedimentales. *Journal of Science Education*, 28–31.
- Atkins, P. (1999). Chemistry: the great ideas. *Pure Applied Chemistry*, 71(6), 927–929.
- Atkins, P. (2005). Skeletal chemistry. *Education in Chemistry*, 42(1), 20–25. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:SKELETAL+CHEMISTRY#9>

- Atkins, P. (2013). *What is chemistry?* (First edit.). London: Oxford University Press.
- Ayala, A., Bustamante, A., Murillo, M., Perilla, J. G., & Gallego, R. (2008). El flogisto y la oxidación: dos modelos de dinámica científica. *Investigación E Innovación En Enseñanza de Las Ciencias*, 2(1), 33–41.
- Ayala, M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-Posições*, 17(1), 19–37.
- Bardin, L. (2002). *Análisis de contenido* (Tercera Ed.). Madrid: Ediciones Akal, S. A.
- Barreto, C. H., Gutiérrez, L. F., Pinilla, B. L., & Parra, C. (2006). Límites del constructivismo pedagógico. *Educación Y Educadores*, 9(1), 11–32.
- Bekerman, D., & Galagovsky, L. (2009). El lenguaje gráfico de la química: una perspectiva para el análisis de errores. *Ensenanza de Las Ciencias*, (Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias), 496–502.
- Bello, S. (2004). Ideas previas y cambio conceptual. *Educación Química*, 15(3), 60–67.
- Bennett, J., & Holman, J. (2002). Context-based approaches to the teaching of chemistry: What are they and what are their effects? In J. K. Gilbert (Ed.), *Chemical education: Towards research-based ...* (pp. 165–184). Netherlands: Kluwer Academic Publishers. Retrieved from <http://www.springerlink.com/index/h22vk0u6336w7764.pdf>
- Bensaude-Vincent, B. (1996). Between history and memory: Centennial and bicentennial images of Lavoisier. *Isis*, 87(3), 481–499. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/235981>
- Bensaude-Vincent, B., & Stengers, I. (1997). *Historia de la química*. Madrid: Addison-Wesley Iberoamericana, S.A.
- Bertomeu, J. R., & García-Belmar, A. (2006). *La revolución química. Entre la historia y la memoria*. Valencia: Universitat de València.
- Blanco, N. (1991). Materiales curriculares: los libros de texto. In J. Angulo & N. Blanco (Eds.), *Teoría y desarrollo del curriculum* (pp. 175–185). Madrid.
- Boo, H.-K., & Toh, K.-A. (1998). An investigation on the scientific thinking ability of fourth year university students. *Research in Science Education*, 28(4), 491–506. doi:10.1007/BF02461512
- BouJaoude, S. B. (1991). A study of the nature of students' understandings about the concept of burning. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), 689–704.
- Boyle, R. (1673). *Tracts written by the honourable Robert Boyle containing new experiments touching the relation betwix flame and air: and about explosions: an hydrostatical with some objections of Dr. Henry More against some explications of new experiments*. London: EEBO Editions.
- Boyle, R. (2013). *The Sceptical Chymist*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Brock, W. (1998). *Historia de la química*. Madrid: Alianza Editorial.

- Burian, R. M. (2001). The Dilemma of Case Studies Resolved: The Virtues of Using Case Studies in the History and Philosophy of Science. *Perspectives on Science*, 9(4), 383–404. doi:10.1162/106361401760375794
- Bustos, F. (2002). Peligros del constructivismo. *Educere*, 6(018), 204–210.
- Caamaño, A. (2004). Experiencias, experimentos ilustrativos, ejercicios prácticos e investigaciones: ¿una clasificación útil de los trabajos prácticos? *Alambique (Versión Electrónica)*, (39), 1–5.
- Caamaño, A. (2005). Trabajos prácticos investigativos en química en relación con el modelo atómico-molecular de la materia, planificados mediante un diálogo estructurado entre profesor y estudiantes. *Educación Química*, 16(1), 10 – 19. Retrieved from <http://europa.sim.ucm.es/compludoc/AA?articuloId=404921>
- Caamaño, A. (2006a). Repensar el currículo de química en el bachillerato. In *Primera Trobada de professors de Química de la Universitat de Barcelona i professors de química de batxillerat* (pp. 1–12). Barcelona.
- Caamaño, A. (2006b). Retos del currículum de química en la educación secundaria. La selección y contextualización de los contenidos de química en los currículos de Inglaterra, Portugal, Francia y España. *Educación Química*, 17(X), 195–208.
- Caamaño, A. (2007). Modelizar y contextualizar el currículum de química: un proceso en constante desarrollo. In M. Izquierdo, A. Caamaño, & M. Quintanilla (Eds.), *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar* (pp. 19–40). Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Caamaño, A. (2011a). Contextualización, indagación y modelización. Tres enfoques para el aprendizaje de la competencia científica en las clases de química. *Aula de Innovación Educativa*, (207), 17–21.
- Caamaño, A. (2011b). Enseñar química mediante la contextualización, la indagación y la modelización. *Alambique, Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, (69), 21–34.
- Caamaño, A. (2011c). La química en el bachillerato: por una química en contexto. In A. Caamaño (Ed.), *Física y química. Complementos de formación disciplinar* (pp. 149–170). Barcelona: GRAÓ.
- Caamaño, A., Gómez, M. Á., Gutiérrez, M. S., Llopis, R., & Martínez-Díaz, M. J. (2001). Proyecto Salters: un enfoque CTS para la química del Bachillerato. In P. Membiela (Ed.), *Enseñanza de las Ciencias desde la perspectiva Ciencia-tecnología-Sociedad. Formación científica para la ciudadanía* (pp. 179–192). Madrid: Narcea S. A.
- Caamaño, A., Puigvert, T., Melia, R. M., Llaveria, A., & Corominas, J. (2011). Química cotidiana a través de la química Salters: la química del color y la química de las medicinas. In G. Pinto (Ed.), *Didáctica de la Química y vida cotidiana* (pp. 33–41). Madrid: Sección de Publicaciones de la E.T.S. de Ingenieros Industriales.
- Cabré, M. T. (2002). Terminología y lingüística: la teoría de las puertas. *Estudios de Lingüística Del Español*, 16, 1–9. Retrieved from <http://elies.rediris.es/elies16/Cabre.html>

- Cabré, M. T., Freixa, J., Lorente, M., & Tebé, C. (1998). La Terminología hoy: replanteamiento o diversificación. *Organon*, 12(26), 33–41.
- Cabrera, H. G. (2010a). *Elementos históricos epistemológicos desde Kuhn que permiten la identificación de aportes para la enseñanza de la combustión*. Universidad del Valle.
- Cabrera, H. G. (2010b). *Elementos históricos epistemológicos desde Kuhn que permiten la identificación de aportes para la enseñanza de la combustión*. Universidad del Valle.
- Cabrera, H. G. (2012a). Análisis descriptivo sobre el concepto combustión en libros de texto universitarios. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 9(3), 311–328.
- Cabrera, H. G. (2012b). Historia y epistemología de la ciencia: el caso de la combustión. *Innovación Y Ciencia*, 19(1), 32 – 42.
- Cabrera, H. G. (2014). Un análisis de la estructura de dos experimentos asociados a la combustión: algunas implicaciones para la formación inicial docente. In *Tercera Conferencia Latinoamericana del Grupo Internacional de Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias* (pp. 1–24). Santiago de Chile: Belaterra.
- Cabrera, H. G. (2015). Los modos de representación de modelos en el curso Educación en Química con profesores en formación inicial en Ciencias Naturales. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 12(3), 565–580.
- Cabrera, H. G., & García-Arteaga, E. G. (2014). Historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias: el caso de la reacción química. *Revista Brasileira de História Da Ciência*, 7(2), 298–313.
- Cabrera, H. G., & Quintanilla, M. (2014). Un análisis de la estructura de dos experimentos asociados a la combustión: algunas implicaciones para la formación inicial docente. In M. Quintanilla, S. Daza, & H. G. Cabrera (Eds.), *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva aula de ciencias, promotora de ciudadanía y valores* (pp. 202–216). Bogota: Belaterra.
- Calvo, M. A., & Martín-Sánchez, M. (2005). Análisis de la adaptación de los libros de texto de eso al currículo oficial, en el campo de la química. *Enseñanza de Las Ciencias*, 23(1), 17–32.
- Camacho, J. P. (2010). *Concepciones del profesorado y promoción de la explicación científica en la actividad química escolar*. Pontificia Universidad Católica de Chile. Retrieved from http://www7.uc.cl/sw_educ/educacion/grecia/plano/html/pdfs/biblioteca/DOCTOR/TesisDoctJohCa.pdf
- Camacho, J. P., & Quintanilla, M. (2008). Resolución de problemas científicos desde la historia de la ciencia: retos y desafíos para promover competencias cognitivo lingüísticas en la química escolar. *Ciência & Educação*, 14(2), 197–212.
- Campanario, J. M. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de Las Ciencias*, 17(2), 179–192.
- Campanario, J. M., & Otero, J. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de

- aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones apistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de Las Ciencias*, 18(2), 155–169.
- Caruso, M. F., Castro, M., Domínguez, J., García-Rojeda, E., Iturralde, C., Rocha, A., & Scandrolí, N. (1998). Construcción del concepto de reacción química. *Educación Química*, 9(3), 150–154.
- Cavendish, H. (1766). Three papers, containing experiments on factitious air, by the hon. *Philosophical Transactions*, 56, 141–184.
- Cavicchi, E. (2008). Historical Experiments in Students' Hands: Unfragmenting Science through Action and History. *Science & Education*, 17(7), 717–749. doi:10.1007/s11191-006-9005-2
- Cerda, H. (2008). *Los elementos de la investigación. Cómo reconocerlos, diseñarlos y construirlos* (Tercera Ed.). Bogotá: Editorial El Búho Ltda.
- Chalmers, A. F. (2010). Boyle and the origins of modern chemistry: Newman tried in the fire. *Studies in History and Philosophy of Science*, 41(1), 1–10. doi:10.1016/j.shpsa.2009.12.001
- Chamizo, J. A. (2013). *De la paradoja a la metáfora: la enseñanza de la química a partir de sus modelos* (Primera ed.). Ciudad de México: Siglo XXI.
- Chamizo, J. A. (2014). La historia de la ciencia: un tema pendiente en la educación latinoamericana. In M. Quintanilla, S. Daza, & H. G. Cabrera (Eds.), *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva aula de ciencias, promotora de ciudadanía y valores* (Primera ed., pp. 77–100). Santiago de Chile: Belaterra.
- Chang, H. (2004). *Inventing Temperature: Measurement and scientific progress*. New York: Oxford University Press. doi:10.1093/0195171276.001.0001
- Chang, H. (2008). Complementary science. *The Philosopher's Magazine*, (40), 17 – 24.
- Chang, H. (2009). We Have Never Been Whiggish (About Phlogiston). *Centaurus*, 51(4), 239–264. doi:10.1111/j.1600-0498.2009.00150.x
- Chang, H. (2011a). Beyond Case-Studies: History as Philosophy. In S. Mauskopf & T. Schmaltz (Eds.), *Integrating History and Philosophy of Science: Problems and Prospects* (Vol. 263, pp. 109–124). Dordrecht: Springer Netherlands. doi:10.1007/978-94-007-1745-9
- Chang, H. (2011b). How historical experiments can improve scientific knowledge and science education: the cases of boiling water and electrochemistry. *Science & Education*, 20(3-4), 317–341. doi:10.1007/s11191-010-9301-8
- Concari, S. B. (2001). Las teorías y modelos en la explicación científica: implicaciones para la enseñanza de las ciencias. *Ciência & Educação*, 7(1), 85–94.
- Contreras, S., & González, A. (2014). La selección de contenidos conceptuales en los programas de estudio de Química y Ciencias Naturales chilenos: análisis de los niveles macroscópico, microscópico y simbólico. *Educación Química*, 25(2), 97–103.

- Coronado, G. (1998). Robert Boyle y el Químico Escéptico. Una crítica a la teoría elementarista. *Revista de Filosofía de La Universidad de Costa Rica*, 36(88/89), 473–478.
- Cubillos, G. (2003). *Introducción Al Pensamiento Científico. De Los Átomos De Demócrito Al Carbono Tetraédrico De Van't Hoff*. Bogota: Universidad Nacional de Bogota.
- Cuéllar, L. (2010). *La historia de la química en la reflexión sobre la práctica profesional. Un estudio de caso desde la enseñanza de la ley periódica*. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- De Echave Sanz, A., Sánchez Gonzáles, M. D., Serón Arbeloa, F. J., Tiburzi, M. C., Kranewitter, M. C., & Odetti, H. S. (2010). Representaciones visuales en torno a la combustión: comparación entre el alumnado de la universidad nacional del litoral y la universidad de zaragoza. *Revista FABICIB*, 14(1), 46–51. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authType=crawler&jrnl=03295559&AN=59622889&h=EtQn3qsvvUuzfM6T4MFZq4Mj2BivHn9Rwyqlw90KNKqQR1FBvDgs6gdqDBtQ9zZ5tYP8431SaA0SZECV/puE/A==&crl=c>
- De Pro Bueno, A. (1998). ¿Se pueden enseñar contenidos procedimentales en las clases de ciencias? *Enseñanza de Las Ciencias*, 16(1), 21–41.
- De Pro Bueno, A. (2007). Los contenidos de los proyectos curriculares de física y química en secundaria en la implantación de la reforma LOGSE. *Enseñanza de Las Ciencias*, 25(3), 367–386.
- Del Pro, A. (2001). ¿Cómo es valorado un curso de formación inicial desde las necesidades y problemas de profesores principiantes? *Revista Interuniversitaria de Formación de Profesorado*, (40), 111–131.
- Delgado, R., & García, M. (2006). Creencias de profesores y alumnos sobre la importancia de la Historia de las Ciencias para la enseñanza/aprendizaje de las ciencias. *Revista Iberoamericana de Educación*, 1–5.
- Díaz, F., & Rojas, G. (1992). El aprendizaje de diversos contenidos curriculares. In *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo* (Segunda ed., pp. 1–300). McGraw-Hill.
- Dibattista, L., & Morgese, F. (2013). Introducing History (and Philosophy) of Science in the Classroom: A Field Research Experience in Italy. *Science & Education*, 22(3), 543–576. doi:10.1007/s11191-012-9436-x
- Donovan, A. (1988). Lavoisier and the Origins of Modern Chemistry. *Osiris*, 4, 214–231.
- dos Santos, W., Mol, G., Silva, R. R., de Castro, E., Silva, G., Matsunaga, R., ... Dib, S. (2009). Química e sociedade: um projeto brasileiro para o ensino de química por meio de temas CTS. *Educación Química*, (3), 20–28. doi:10.2436/eduq.v0i3.804
- Ducheyne, S. (2011). The Cavendish Experiment as a Tool for Historical Understanding of Science. *Science & Education*, 21(1), 87–108. doi:10.1007/s11191-011-9382-z
- Duit, R. (2006). La investigación sobre enseñanza de las ciencias: un requisito imprescindible

- para mejorar la práctica educativa. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11(30), 741–770. Retrieved from <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/140/14000905.pdf>
- Dunker, N., Magntorn, O., & Hellden, G. (2008). Efficiency of concept mapping for the conceptual understanding of burning and underlying processes of combustion for elementary school students. In A. J. Cañas, P. Reiska, M. Ahlberg, & J. D. Novak (Eds.), *Concept Mapping: Connecting Educators* (pp. 1–6). Helsinki: Tallinn.
- Duschl, R. A. (1994). Research on the history and philosophy of science. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*. New York: Simon & Schuster Macmillan.
- Duschl, R. A. (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias: importancia de las teorías y su desarrollo*. Madrid: Narcea S. A.
- Echeverría, J. (1997). La filosofía de la ciencia en el siglo XX: principales tendencias. *AGORA. Papeles de Filosofía*, 16(1), 5–39.
- Eder, M. L. (2005). La explicación en la enseñanza y en las ciencias. *Enseñanza de Las Ciencias*, (Número Extra VII Congreso Internacional), 1–5.
- Eder, M. L., & Adúriz-Bravo, A. (2008). La Explicación en las ciencias naturales y en su enseñanza: aproximaciones epistemológica y didáctica. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 4(2), 101–133. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=134112597007>
- Edgington, J. (1997). What Constitutes a Scientific Explanation? In *Annual Meeting at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching* (pp. 1–11). Oak Brook.
- Estany, A. (2007). Innovación tecnológica y tradiciones experimentales una perspectiva cognitiva. *Ciencias*, (088), 34–45.
- Farías, D. M. (2012). *Teoría, estructura y modelos atómicos en los libros de texto de química de educación secundaria. Análisis desde la sociología de la ciencia e implicaciones didácticas*. Universidad de Barcelona.
- Farré, A. S., Zugbi, S., & Lorenzo, M. G. (2014). El significado de las fórmulas químicas para estudiantes universitarios. El lenguaje químico como instrumento para la construcción de conocimiento. *Educacion Quimica*, 25(1), 14–20.
- Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J., & Cachapuz, A. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de Las Ciencias*, 20(3), 477–488. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/dcart?info=link&codigo=280954&orden=23803>
- Ferreirós, J., & Ordóñez, J. (2002). Hacia una filosofía de la experimentación. *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía*, 34(102), 47–86.
- Fleck, L. (1986). *La génesis y el desarrollo de un hecho científico. Introducción a la teoría del estilo de pensamiento y del colectivo de pensamiento*. Madrid: Alianza Editorial.
- Fleck, L. (1994). Sobre la crisis de la realidad. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, (67), 251–261.

- Flick, U. (2004). *Introducción a la investigación cualitativa*. Madrid: Ediciones Morata, S. A.
- Fraser, B., & Tobin, K. (1998). *International Handbook of Science Education*. (B. Fraser & K. Tobin, Eds.) (Primera Ed.). Springer.
- Fraser, B., Tobin, K., & McRobbie, C. (2012). *Second International Handbook of Science Education*. (B. Fraser, K. Tobin, & C. McRobbie, Eds.). Washington: Springer.
- Fumagalli, L. (2001). COMISIÓN I: Alternativas para superar la fragmentación curricular en la educación secundaria a partir de la formación de los docentes. In *Seminario Internacional "La Formación de los Formadores de Jóvenes para el Siglo XXI: Desafíos, Experiencias y Propuestas para su Formación y Capacitación"* (pp. 78–83).
- Furió, C. (1989). La didáctica de las ciencias en la formación inicial del profesorado: una orientación y un programa teóricamente fundamentados. *Enseñanza de Las Ciencias*, 7(3), 257–265. Retrieved from <http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v7n3p257.pdf>
- Furió, C., & Domínguez-Sales, C. (2007). Problemas históricos y dificultades de los estudiantes en la conceptualización de sustancias y compuesto químico. *Enseñanza de Las Ciencias*, 25(2), 241–258.
- Furió, C., Valdés, P., & González de la Barrera, L. G. (2005). Transformación de las prácticas de laboratorio de química en actividades de resolución de problemas de interés profesional. *Educación Química*, 16(1), 20–29.
- Gabel, D. L. (1994). *Handbook of research on science teaching and learning*. (D. Gabel, Ed.). New York: Macmillan.
- Gabel, D. L., Monaghan, D. L., Makinster, J. G., & Stockton, J. D. (2001). Changing children's conceptions of burning. *School Science and Mathematics*, 101(8), 439–451.
- Gagliardi, R. (1988). Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de Las Ciencias*, 6(3), 291–296.
- Gagliardi, R., & Giordan, A. (1986). La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de Las Ciencias*, 4(3), 253–258.
- Galagovsky, L. (2007). Enseñar química Vs. Aprender química: una ecuación que no está balanceada. *Revista Química Viva*, 6(Número Especial), 1–13.
- Galagovsky, L., & Bekerman, D. (2009). La Química y sus lenguajes: un aporte para interpretar errores de los estudiantes. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 8(3), 952–975.
- Galagovsky, L., Bekerman, D., Di Giacomo, M. A., & Alí, S. (2014). Algunas reflexiones sobre la distancia entre "hablar química" y "comprender química." *Ciência & Educação*, 20(4), 785–799.
- Galagovsky, L., & Giudice, J. (2015). Estequiometría y ley de conservación de la masa: una relación a analizar desde la perspectiva de los lenguajes químicos. *Ciência & Educação*, 21(1), 85–99.
- Gallego, R., Pérez, R., Gallego, T. de, & Torres, L. N. (2004). Formación inicial de profesores

- de ciencias en Colombia: un estudio a partir de programas acreditados. *Ciência & Educação*, 10(2), 219–234.
- García, J. J., & Rentería, E. (2011). La medición de las capacidades de modelización en las ciencias experimentales. *Revista Virtual Universidad Católica Del Norte*, (33), 1–28.
- García-Arteaga, E. G. (2009). *Historia de las ciencias en textos para la enseñanza de la neumática e hidrostática: perspectivas socioculturales*. Cali: Universidad del Valle.
- García-Arteaga, E. G. (2011a). *Las prácticas experimentales en los textos y su influencia en el aprendizaje. Aporte histórico y filosófico en la física de campos*. Universidad Autónoma de Barcelona.
- García-Arteaga, E. G. (2011b). Modelos de explicación, basado en prácticas experimentales. Aportes de la filosofía historicista. *Revista Científica*, (14), 89–96.
- García-Arteaga, E. G., & Estany, A. (2010). Filosofía de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias. *Praxis Filosófica*, (30), 7–24.
- García-Arteaga, E. G., & Marín, M. (2013). Pensar y actuar en el aula. La construcción de conocimiento a través de la experimentación: el caso de la combustión. In J. F. Malagón, M. M. Ayala, & S. Sandoval (Eds.), *Construcción de fenomenologías y procesos de formalización: un sentido para la enseñanza de las ciencias* (Primera ed., pp. 57–86). Bogota: Universidad Pedagógica Nacional.
- García-Barros, S., & Losada-Martínez, C. (2003). Enseñar a enseñar contenidos procedimentales es difícil. *Revista Interuniversitaria de Formación de Profesorado*, 17(1), 79–99.
- García-Belmar, A., & Bertomeu, J. R. (1999). *Nombrar la materia. Una introducción histórica a la terminología química* (Primera ed.). Barcelona: Ediciones del Serbal.
- García-Díaz, E. (1998). *Hacia una teoría alternativa de los contenidos escolares* (Primera ed.). Sevilla: Díada Editora.
- García-Hourcade, J. L., & Rodríguez de Avila, C. (1988). Ideas previas, esquemas alternativos, cambio conceptual y el trabajo en el aula. *Enseñanza de Las Ciencias*, 6(2), 161–166.
- García-Martínez, A. (2009). *Aportes de la historia de la ciencia al desarrollo profesional de profesores de química*. Universitat Autònoma de Barcelona.
- García-Martínez, A. (2014). Prácticas experimentales e instrumentos científicos en la construcción del conocimiento científico escolar. In M. Quintanilla, S. Daza, & H. G. Cabrera (Eds.), *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva aula de ciencias, promotora de ciudadanía y valores* (Primera ed., pp. 101–131). Santiago de Chile: Belaterra.
- Gaulon, P.-A. (n.d.). Les instruments scientifiques definition et historique.
- Gibbs, G. (2012). *El análisis de datos cualitativos en Investigación Cualitativa*. Madrid: Ediciones Morata, S. A.
- Gil, D. (1983). Tres paradjgmas basicos en la ensenanza de las ciencias. *Enseñanza de Las*

Ciencias, 1, 26–33.

- Gil, D. (1991). ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias? (Intento de síntesis de las aportaciones de la investigación didáctica). *Enseñanza de Las Ciencias*, 9(1), 69–77.
- Gil, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de Las Ciencias*, 11(2), 197–212.
- Gil, D., Martínez, J., & Vilches, A. (2008). *A renovação do ensino universitario: Necessidade, obstáculos e oportunidades. Novos enfoques no ensino universitario*. Vigo: Universidade de Vigo. Retrieved from https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CDMQFjAA&url=http://www.uv.es/vilches/documentos%20enlazados/2008.%20Docencia%20Universitaria.pdf&ei=AvI1UdSIHb48wSXyIDoBA&usg=AFQjCNEHKqpp4E23qeO4QlVa3VnmFK3c0g&sig2=9m_VTmhPej0wVyyvTghPlg
- Gil, D., & Vilches, A. (2008). ¿Qué deben saber y saber hacer los profesores universitarios? In M. Cebreiros & N. Casado (Eds.), *Novos enfoques no ensino universitario* (pp. 25–43). Vigo: Universidade de Vigo. Retrieved from <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&sqi=2&ved=0CC4QFjAA&url=http://www.uv.es/vilches/documentos%20enlazados/Que%20deben%20saber%20e%20saber%20hacer.pdf&ei=TPA1UeSNFoKk8ATeyYGoBw&usg=AFQjCNHXyC3B6khRzvXu4iAircdpt5IAeA>
- Gilbert, J. K., Boulter, C., & Rutherford, M. (1998a). Models in explanations, Part 1: Horses for courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), 83–97. doi:10.1080/0950069980200106
- Gilbert, J. K., Boulter, C., & Rutherford, M. (1998b). Models in explanations, Part 2: Whose voice? Whose ears? *International Journal of Science Education*, 20(2), 187–203. doi:10.1080/0950069980200205
- Gillespie, R. J. (1997). The Great Ideas of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 74(7), 862–864.
- Gough, J. B. (1988). Lavoisier and the Fulfillment of the Stahlian Revolution. *Osiris*, 4, 15–33. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/301741>
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (1998). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. *Caderno Catariense de Ensino de Física*, 15(2), 107–120.
- Grimaux, E. (1888). *Lavoisier 1743-1794*. Paris: Félix Alcan.
- Grupo Salters. (1999). Proyecto Química Salters. *Cuadernos de Pedagogía*, (281), 68–72.
- Guidoni, P. (1985). On natural thinking. *European Journal of Science Education*, 7(2), 133–140.
- Gutiérrez, M., Ball, M., & Márquez, E. (2008). Signo, significado e intersubjetividad: una mirada cultural. *Educere*, Año 12(43), 689–696.

- Hacking, I. (1996). *Representar e Intervenir* (Primera.). México, D. F.: Paidós.
- Heering, P. (2003). Analysins unsuccessful experiments and instruments with the replication method. In *Paper presented at the Itinerant Physicists of the 17th century Conference* (pp. 315–340). Pognana (Italia).
- Heering, P. (2006). Public Experiments and their Analysis with the Replication Method. *Science & Education*, (Online), 1–9. doi:10.1007/s11191-006-9013-2
- Heering, P., & Wittje, R. (2012). An Historical Perspective on Instruments and Experiments in Science Education. *Science & Education*, 21(2), 151–155. doi:10.1007/s11191-010-9334-z
- Hernández, R., Fernández-Collado, C., & Baptista, P. (2008). *Metodología de la investigación* (Cuarta Edi.). México, D. F.: McGraw-Hill.
- Hesse, J. J., & Anderson, C. W. (1992). Students' conceptions of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(3), 277–299.
- Hill, J. (2010). Atkins' 'Nine principal ideas of Chemistry': Cornerstone concepts of a tertiary foundation chemistry course. *Chemistry Education in New Zealand*, (November), 12–13. Retrieved from http://nzic.org.nz/chemed-nz/issue-archive/ChemEdNZ_Nov2010_Hill.pdf
- Hill, J., & Warren, D. (2009). An Alternative Curriculum Framework for the Chemistry 1 Course in Australian Universities: Chemistry Enabling Sustainability. *Chemistry Education in New Zealand*, (May), 4–9.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking Old Ways: Towards A More Critical Approach To Practical Work In School Science. *Studies in Science Education*, 22(1), 85–142.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de Las Ciencias*, 12(3), 299 – 313.
- Hooke, R. (1664). *Micrographia, or some phylosophical descriptions of minute bodies made by magnifying glasses, with observations and inquiries thereupon*. London: Royal Society of London.
- Höttecke, D., & Silva, C. (2011). Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. *Science & Education*, 20(3-4), 293–316. doi:10.1007/s11191-010-9285-4
- Ihde, A. (1984). *The Development of Modern Chemistry*. New York: Dover Publications, Inc.
- Insausti, M. J. (2000). Una propuesta para el aprendizaje de contenidos procedimentales en el laboratorio de física y química. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 5(2), 93–119.
- Isover. (2015). Chimeneas.
- Izquierdo, M. (1986). La función de las inscripciones en los textos de química. La sorprendente evolución de la tabla periódica. In *Actas VIII Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas* (pp. 35–53).
- Izquierdo, M. (1996a). Reflexiones sobre el lenguaje científico: algunos ejemplos de geología. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 4(3), 167–171.

- Izquierdo, M. (1996b). Relación entre la historia y la filosofía de la ciencia y la enseñanza de las ciencias. *Alambique (Versión Electrónica)*, (008).
- Izquierdo, M. (2004a). Los mapas conceptuales, instrumento para el análisis de las narrativas experimentales. In *First International Conference on Concept Mapping* (pp. 1–4). Pamplona.
- Izquierdo, M. (2004b). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: contextualizar y modelizar. *The Journal of the Argentine Chemical Society*, 92(4/6), 115–136.
- Izquierdo, M. (2005a). ¿Para qué se inventaron los problemas de química? *Educación Química*, 16(2), 246–259.
- Izquierdo, M. (2005b). Estructuras retóricas en los libros de ciencias. *Tarbiya, Revista de Investigación E Innovación Educativa*, (36), 11–34. Retrieved from <http://www.uam.es/servicios/apoyodocencia/ice/tarbiya/pdf/revistas/Tarbiya036.pdf>
- Izquierdo, M. (2005c). Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de Las Ciencias*, 23(1), 111–122.
- Izquierdo, M. (2006). Una química para la educación del ciudadano. In M. Quintanilla & A. Adúriz-Bravo (Eds.), *Enseñar ciencias en el nuevo milenio. Retos y propuestas* (Primera ed., pp. 315–333). Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Izquierdo, M. (2007). Actividad química escolar: modelización metacognitiva del cambio químico. In M. Izquierdo, J. A. Chamizo, & M. Quintanilla (Eds.), *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar* (Primera ed., pp. 141–164). Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Izquierdo, M. (2008). La organización y la secuenciación de los contenidos para su enseñanza. In C. Merino, A. Gómez, & A. Adúriz-Bravo (Eds.), *Área y Estrategias de Investigación en la Didáctica de las Ciencias Experimentales* (Primera ed., pp. 33–58). Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Izquierdo, M. (2013). School Chemistry: An Historical and Philosophical. *Science & Education*, 22(7), 1633–1653. doi:10.1007/s11191-012-9457-5
- Izquierdo, M. (2014). Pasado y presente de la química: su función didáctica. In C. Merino, M. Arellano, & A. Adúriz-Bravo (Eds.), *Avances en Didáctica de la Química: Modelos y lenguajes* (Primera ed., pp. 13–36). Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso de la Universidad Católica de Valparaíso.
- Izquierdo, M., Quintanilla, M., & Merino, C. (2006). Relación entre la historia y la filosofía de las ciencias II. *Alambique, Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, (48), 78–91.
- Izquierdo, M., Quintanilla, M., Vallverdú, J., & Merino, C. (2014). Una nueva reflexión sobre la historia & filosofía de las ciencias y la enseñanza de las ciencias. In M. Quintanilla, S. Daza, & H. G. Cabrera (Eds.), *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva aula de ciencias, promotora de ciudadanía y valores* (Primera ed., pp. 30–51). Santiago de Chile: Belaterra.
- Izquierdo, M., Sanmartí, N., & Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de Las Ciencias*, 17(1), 45–59.

- Jacob, C. (2001). Analysis and Synthesis. Interdependent Operations in Chemical Language and Practice. *HYLE-International Journal for Philosophy of Chemistry*, 7(1), 31–50. Retrieved from <http://www.hyle.org/journal/issues/7/jacob.htm>
- Jacob, C. (2007). Análisis y síntesis. Operaciones interdependientes entre la práctica y el lenguaje químico. In J. A. Chamizo (Ed.), *La esencia de la química. Reflexiones sobre filosofía y educación* (Primera ed., pp. 31–50). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Jensen, W. B. (1984). Abegg, Lewis, Langmuir, and the Octet Rule. *Journal of Chemical Education*, 61(3), 191–200.
- Jensen, W. B. (1998). Logic, history, and the chemistry textbook I. Does chemistry have a logical structure? *Journal of Chemical Education*, 75(6), 679–687.
- Jiménez, M. P. (2000). Modelos didácticos. In *Didáctica de las ciencias experimentales* (pp. 165–186). Barcelona: Alcoy.
- Johnstone, A. H. (1982). Macro- and microchemistry. *School Science Review*, 64(277), 377–379.
- Johnstone, A. H. (1993). The Development of Chemistry Teaching. A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701–705.
- Johnstone, A. H. (2000a). Chemical Education Research: Where from Here? *University Chemistry Education*, 4(1), 34–38.
- Johnstone, A. H. (2000b). Teaching of chemistry - Logical or psychological? *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, 1(1), 9–15.
- Jong, O. De. (1998a). Los experimentos que plantean problemas en las aulas de química: dilemas y soluciones. *Enseñanza de Las Ciencias*, 16(2), 305–314.
- Jong, O. De. (1998b). Los experimentos que plantean problemas en las aulas de química: dilemas y soluciones. *Enseñanza de Las Ciencias*, 16(2), 305–314. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=94923&orden=23627&info=link>
- Jong, O. De. (1998c). Point de vue de professeurs et de futurs professeurs de chimie concernant l'enseignement de la combustion. *Aster*, (26), 183–205. Retrieved from https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CDUQFjAB&url=http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/8697/ASTER_1998_26_183.pdf?sequence=1&ei=W24NU9O0MKrwyAGuzIGwCA&usg=AFQjCNFK0udiDlwVpn4P4ZfGsXEmT1yKpA&sig2=LI-84pPVtfcQCk5B0r3yhQ
- Jong, O. De, Ahtee, M., Goodwin, A., Hatzinikita, V., & Koulaidis, V. (1999). An international study of prospective teachers' initial teaching conceptions and concerns: The case of teaching "combustion." *European Journal of Teacher Education*, 22(1), 45–59. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0261976990220104>
- Jorba, J., Prat, A., & Gomez, I. (2000). *Hablar, leer y escribir para aprender: Uso de la lengua en situación de enseñanza aprendizaje desde las áreas curriculares*. Madrid: Editorial Síntesis.
- Justi, R. (1997). *Models in the teaching of chemical kinetics*. University of Reading.

- Kind, V. (2004). *Mas allá de las apariencias: Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química* (Primera ed.). México, D. F.: Santillana.
- Kind, V. (2013). A Degree Is Not Enough: A quantitative study of aspects of pre-service science teachers' chemistry content knowledge. *International Journal of Science Education*, 1–33. doi:10.1080/09500693.2013.860497
- Kind, V., & Kind, P. M. (2011). Beginning to Teach Chemistry: How personal and academic characteristics of pre-service science teachers compare with their understandings of basic chemical ideas. *International Journal of Science Education*, 33(15), 2123–2158. doi:10.1080/09500693.2010.542498
- Klein, U., & Lefevre, W. (2007). *Materials in Eighteenth-Century Science*. (U. Klein & W. Lefevre, Eds.). Massachusetts: MIT Press.
- Kohler, R. E. (1974). Irving Langmuir and the “Octet” Theory of Valence. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 4, 39–87.
- Kreimer, P. (2011). Sobre el conocimiento, la ciencia y la sociedad. *Exactamente*, (47), 22–25. Retrieved from <http://www.infonomia.com/tematiques/index.asp?idm=1&idrev=2&num=2>
- Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions* (Primera ed.). Chicago: The University of Chicago.
- Kuhn, T. S. (2004). *La estructura de las revoluciones científicas* (Octava rei.). México, D. F.: Fondo de Cultura Económica.
- Kuhn, T. S. (2007). *La estructura de las revoluciones científicas* (Primera re.). México, D. F.: Fondo de Cultura Económica.
- Landau, L., Ricchi, G., & Torres, N. (2014). Disoluciones: ¿Contribuye la experimentación a un aprendizaje significativo? *Educación Química*, 25(1), 21–29.
- Langmuir, I. (1919). The Structure of Atoms and the Octet Theory of Valence. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 5(7), 252–259.
- Latorre, A., del Rinón, D., & Arnal, J. (1996). *Bases metodologicas de la investigación educativa* (Primera Ed.). Barcelona: Gràfiques.
- Lavoisier, A. (1774). Memoria sobre la calcinación del estaño en vaso cerrado y sobre la causa del aumento del peso que este metal experimenta durante la operación. In J. Muñoz, L. Leloir, & E. Braun (Eds.), *Memorias sobre el oxígeno, el calórico y la respiración* (pp. 57 – 80). Buenos Aires: EMECÉ.
- Lavoisier, A. (1775). Memoria sobre la naturaleza del principio que se combina con los metales durante la calcinación y que causa el aumento de su peso. In J. Muñoz, L. Leloir, & E. Braun (Eds.), *Memorias sobre el oxígeno, el calórico y la respiración* (pp. 81 – 90). Buenos Aires: EMECÉ.
- Lavoisier, A. (1777). Memoria sobre la combustión en general. In J. Muñoz, L. Leloir, & E. Braun (Eds.), *Memorias sobre el oxígeno, el calórico y la respiración* (pp. 109 – 120). Buenos Aires: EMECÉ.

- Lavoisier, A. (1798). *Tratado elemental de química*. Madrid: Imprenta real.
- Lavoisier, A. (1982). *Tratado elemental de química*. Madrid: Ediciones Alfaguara.
- Lazarowitz, R., & Tamir, P. (1994). Research on using laboratory instruction in science. In D. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 94 – 130). New York: Simon & Schuster Macmillan.
- Lee, C.-Q., & She, H.-C. (2009). Facilitating Students' Conceptual Change and Scientific Reasoning Involving the Unit of Combustion. *Research in Science Education*, 40(4), 479–504. doi:10.1007/s11165-009-9130-4
- Leicester, H. M. (1967). *Panorama histórico de la Química*. Madrid: Alhambra.
- Leicester, H. M., & Klickstein, H. (1952). *A source book in chemistry 1400 - 1900* (First Edit.). New York: McGraw-Hill.
- Leinhardt, G. (1990). *Towards understanding instructional explanations*. Pittsburgh.
- Lemke, J. (1997). *Aprender a hablar ciencia: lenguaje, aprendizaje y valores* (Tercera ed.). Madrid: Paidós Ibérica.
- Lemke, J. (1998). Teaching all the languages of science: Words, Symbols, Images, and Actions. Retrieved August 3, 2015, from <http://academic.brooklyn.cuny.edu/education/jlemke/papers/barcelon.htm>
- Lemke, J. (2006). Investigar para el futuro de la educación científica: nuevas formas de aprender, nuevas formas de vivir. *Enseñanza de Las Ciencias*, 24(1), 5–12.
- Lin, T.-C., Lin, T.-J., & Tsai, C.-C. (2013). Research Trends in Science Education from 2008 to 2012: A systematic content analysis of publications in selected journals. *International Journal of Science Education*, 1–27. doi:10.1080/09500693.2013.864428
- Linares, R. (2005). Elemento, átomo y sustancia simple. Diferentes lecturas de la tabla periódica. *Enseñanza de Las Ciencias*, (Número Extra. VII Congreso), 1–7.
- Linnett, J. W. (1961). A modification of the Lewis-Langmuir octet rule. *Journal of the American Chemical Society*, 83(12), 2643–2653.
- Lombardi, O., & Labarca, M. (2005). The Ontological Autonomy Of The Chemical World. *Foundations of Chemistry*, 7(2), 125–148. doi:10.1007/s10698-004-0980-6
- Lombardi, O., & Pérez, A. R. (2010). En defensa de la autonomía de la química frente a la física. Discusión de un problema filosófico. In J. A. Chamizo (Ed.), *Historia y filosofía de la química. Aportes para la enseñanza* (pp. 195–209). México, D. F.: Siglo XXI.
- Lorenzo, F. M., García-Rojeda, E., & Domínguez, J. M. (1987). Combustión: una Actividad Abierta (AcAb) para la Enseñanza-Aprendizaje de las ciencias experimentales. In *Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico* (pp. 73–79). Santiago de Chile: Universidad de Santiago.
- Lorenzo, M. G., & Reverdito, A. M. (2004). Evaluación de materiales impresos para la enseñanza de la química: II. Diseño del instrumento. Aspectos semánticos. *Educación Química*, 15(2), 154–160.

- Lysaght, D. J. (1937). Hooke's theory of combustion. *Ambix*, 1(2), 93–108.
- Marín, N., Solano-Martínez, I., & Jiménez Gómez, E. (1999). Tirando del hilo de la madeja constructivista. *Enseñanza de Las Ciencias*, 17(1), 477–492.
- Marinkovich, J. (2008). Palabra y término: ¿Diferenciación o complementación? *Revista Signos*, 41(67), 119–126.
- Mariscal, F., Oliva, J. M., & Bernal, S. (2009). Dificultades de aprendizaje en torno a la periodicidad de los elementos químicos: la visión de profesores e investigadores en educación química. *Enseñanza de Las Ciencias*, (Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona), 54–57.
- Márquez, C. (2005). Aprender ciencias a través del lenguaje. *Educación*, (Abril-Junio), 27–38.
- Márquez, C., & Bonil, J. (2013). Las concepciones de maestros en formación inicial respecto a la educación científica recibida. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 9(1), 107–133.
- Márquez, C., Bonil, J., & Pujol Vilallonga, R. M. (2005). Las Preguntas Mediadoras Como Recursos para favorecer la construcción de modelos científicos complejos. *Enseñanza de Las Ciencias*, (Número Extra), 1–5.
- Márquez, C., & Roca, M. (2006). Plantear preguntas: un punto de partida para aprender ciencias. *Revista Educación Y Pedagogía*, 18(45), 61–71. Retrieved from <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/revistaeyep/article/view/6087/5493>
- Martín del Pozo, R., Fernández-Lozano, P., González-Ballesteros, M., & de Juanas, Á. (2013). El dominio de los contenidos escolares: competencia profesional y formación inicial de maestros. *Revista de Educación*, Enero-Abril(360), 1–18.
- Martín del Pozo, R., & Porlán, R. (1999). Tendencias en la formación inicial del profesorado sobre los contenidos escolares. *Revista Interuniversitaria de Formación Del Profesorado*, 35, 115–128.
- Martín del Pozo, R., & Rivero, A. (2001). Construyendo un conocimiento profesionalizado para enseñar ciencias en la Educación Secundaria: los ámbitos de investigación profesional en la formación inicial del profesorado. *Revista Universitaria de Formación Del Profesorado*, (40), 63–79. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=118092>
- Martinand, J.-L. (1993). Histoire et didactique de la physique et de la chimie: quelles relations? *Didaskalia*, (2), 89–99.
- Martín-Díaz, M. J. (2013). Hablar ciencia: si no lo puedo explicar, no lo entiendo. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 10(3), 291–306.
- Martínez, S. F., & Guillaumin, G. (2005). *Historia, Filosofía y Enseñanza de la ciencia*. (S. F. Martínez & G. Guillaumin, Eds.). México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Matthews, M. R. (1989). History, philosophy and science teaching: a brief review. *Synthese*, 80(1), 1–7.

- Matthews, M. R. (1991). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje Y Educación*, 11(12), 141–155.
- Matthews, M. R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de Las Ciencias*, 12(2), 255–277.
- Matthews, M. R. (2009). Enseñando las componentes filosóficas y de las formas de ver el mundo de la ciencia: algunas consideraciones. *Revista de Enseñanza de La Física*, 22(1), 31–42.
- Matthews, M. R. (2014). *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. (M. R. Matthews, Ed.) (First Edit.). New York: Springer.
- Mayow, J. (1674). *Medico-physical Works: Being a Translation of Tractatus Quinque Medico-physici*. London: The Alembic Club.
- Mazzitelli, C., & Aparicio, M. (2010). El abordaje del conocimiento cotidiano desde la teoría de las representaciones sociales. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 7(3), 636–652. Retrieved from <http://reuredc.uca.es/index.php/tavira/article/view/68>
- McMillan, J. H. (2005). *Investigación educativa* (Quinta Edi.). Madrid: Pearson Education.
- Meheut, M., Saltiel, E., & Tiberghien, A. (1985). Pupils (II - 12 year olds) conceptions of combustion. *European Journal of Science Education*, 7(1), 83–93.
- Mellado, V. (1998). Preservice teachers' classroom practice and their conceptions of the nature of science. In B. Fraser & K. Tobin (Eds.), *International handbook of science education. Part two* (pp. 1093–1110). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Mellado, V. (2001). ¿Por qué a los profesores de ciencias nos cuesta tanto cambiar nuestras concepciones y modelos didácticos? *Revista Interuniversitaria de Formación de Profesorado*, (40), 17–30.
- Mellado, V., Blanco, L., & Ruiz, C. (1999). *Aprender a enseñar ciencias experimentales en la formación inicial del profesorado. Estudios de caso sobre la enseñanza de la energía*. Extremadura: Universidad de Extremadura.
- Membiela, P., & Vidal, M. (2005). Una investigación sobre actividades prácticas de germinación y combustión en la formación inicial de los maestros. *Enseñanza de Las Ciencias*, (Número Extra. VII Congreso), 1–4.
- Merino, C. (2009). *Aportes a la caracterización del “Modelo Cambio Químico Escolar.”* Universidad Autónoma de Barcelona.
- Metz, D., & Stinner, A. (2006). A Role for Historical Experiments: Capturing the Spirit of the Itinerant Lecturers of the 18th Century. *Science & Education*, 1 –12. doi:10.1007/s11191-006-9016-z
- Metzger, H. (1974). *Newton, Stahl, Boerhaave, et la doctrine chimique*. Paris: Alcan.
- Millar, R., & Osborne, J. (1998). *Beyond 2000: science education for the future*. London.
- Ministerio de Educación Nacional. (2012). *Políticas y sistema colombiano de formación y desarrollo profesional docente*. Bogota. Retrieved from

http://www.colombiaaprende.edu.co/html/productos/1685/articles-312338_documento_politica.pdf

- Ministerio de Educación Nacional. (2013). *Sistema colombiano de formación de educadores y lineamientos de política*. Bogotá: Ministerio de Educación Nacional.
- Monk, M., & Osborne, J. (1997). Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A Model for the Development of Pedagogy. *Science Education*, 81(4), 405–424.
- Mora, W. M. (1999). Modelos de Enseñanza-Aprendizaje y Desarrollo profesional: Elementos para la Cualificación Docente. *Revista Educativa Volunt@d*, 3, 4–16.
- Mortimer, E. F., & Miranda, L. C. (1995). Transformações: concepções de estudantes sobre reações químicas. *Química Nova Na Escola*, (2), 23–26.
- Mosquera, C. J., Mora, W. M., & García-Martínez, A. (2003). *Conceptos fundamentales de la química y su relación con el desarrollo profesional del profesorado*. Bogotá: Fondo De Publicaciones Universidad Distrital Francisco Jose De Caldas.
- Nelson, P. G. (1983). What is chemistry? *Education in Chemistry*, (Julio), 122–125.
- Nelson, P. G. (2003). Basic Chemical Concepts. *Chemistry Education Research and Practice*, 4(1), 19–24. doi:10.1039/b2rp90033e
- Niaz, M. (2001). Constructivismo social: ¿panacea o problema? *Interciencia*, 26(5), 185–189.
- Nieto, E., Garritz, A., & Reyes, F. (2007). ¿Cuál es el conocimiento básico que los profesores necesitan para ser más efectivos en sus clases? El caso del concepto Reacción química. *Tecné, Epistémé Y Didaxis*, (22), 32–48.
- Novak, J. D. (1988). Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de Las Ciencias*, 6(3), 213–223.
- Novak, J. D. (1998). *Conocimiento y aprendizaje. Los mapas conceptuales como herramientas facilitadoras para escuelas y empresas* (Primera ed.). Madrid: Alianza Editorial.
- OCDE. (2009). El programa PISA de la OCDE. ¿Qué es y para qué sirve? Retrieved from <http://www.oecd.org/pisa/39730818.pdf>
- Odetti, H., Ortalani, A., Falicoff, C., & Húmpola, P. (2003). Estudio comparativo de contenidos procedimentales en el aprendizaje de la química. *FABICIB*, 7, 65–71.
- Orrego, M., Tamayo-Alzate, O. E., & López, A. M. (2012). Modelos mentales y obstáculos en el aprendizaje de estudiantes universitarios sobre el sistema inmune. *Revista EDUCyT*, 6, 88–102. Retrieved from <http://dintev.univalle.edu.co/revistasunivalle/index.php/educyt/article/view/1881>
- Osborne, J. (2007). Science Education for the Twenty First Century. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(3), 173–184.
- Osborne, J., & Patterson, A. (2011). Scientific argument and explanation: A necessary distinction? *Science Education*, 95(4), 627–638. doi:10.1002/sce.20438

- Osborne, R., & Freyberg, P. (1998). La ciencia de los alumnos. In R. Osborne & P. Freyberg (Eds.), *El aprendizaje de las ciencias. Implicaciones de las "ideas previas" de los alumnos* (Segunda ed., pp. 20–35). Madrid: Narcea S. A.
- Otter, C. (2011). Context based learning in post compulsory education: Salters Advanced Chemistry project. *Educació Química*, (10), 11–17.
- Oxford University Press. (2014). Oxford English Dictionary.
- Padilla, K., Furió, C., & Azcona, R. (2005). Las visiones deformadas de la ciencia en la enseñanza universitaria de los conceptos de cantidad de sustancia y mol. *Enseñanza de Las Ciencias*, (Número Extra VII COngreso), 1–5.
- Paixao, M. F., & Cachapuz, A. (2000). Mass conservation in chemical reactions: the development of an innovative teaching strategy based on the history and philosophy of science. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1(2), 201–215. Retrieved from <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2000/rp/a9rp90022e>
- Parchmann, I., Baer, A., Gräsel, C., Nentwig, P., Bernd, R., & Demuth, R. (2006). “Chemie im Kontext”: A symbiotic implementation of a context-based teaching and learning approach. *International Journal of Science Education*, 28(9), 1041–1062.
- Parchmann, I., & CHIK-team 1. (2009). Chemie im Kontext One approach to realize science standards in chemistry classes? *Educació Química*, (2), 24–31.
- Partington, J. R. (1956a). The Life and Work of John Mayow (1641-1679). Part One. *Isis*, 47(3), 217–230. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/226889>
- Partington, J. R. (1956b). The Life and Work of John Mayow (1641-1679). Part two. *Isis*, 47(4), 405–417. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/226889>
- Partington, J. R., & McKie, D. (1937). Historical studies on the phlogiston theory. I. The levity of phlogiston. *Annals of Science. A Quarterly Review of the History of Science since the Renaissance*, 2(4), 361–404.
- Partington, J. R., & McKie, D. (1938a). Historical studies on the phlogiston theory. II. The negative weight of phlogiston. *Annals of Science. A Quarterly Review of the History of Science since the Renaissance*, 3(1), 1–58.
- Partington, J. R., & McKie, D. (1938b). Historical studies on the phlogiston theory. III. Light and heat in combustion. *Annals of Science. A Quarterly Review of the History of Science since the Renaissance*, 3(4), 337–371.
- Partington, J. R., & McKie, D. (1939). Historical studies on the phlogiston theory. IV. Last phases of the theory. *Annals of Science. A Quarterly Review of the History of Science since the renaissance*, 4(2), 113–149.
- Perafán, G. (2005). Epistemologías del profesor de ciencias sobre su propio conocimiento profesional. *Enseñanza de Las Ciencias*, (Extra), 1–4. Retrieved from http://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2005nEXTRA/edlc_a2005nEXTRAp373epipro.pdf
- Perrin, C. E. (1988). Research traditions, Lavoisier and the chemical revolution. *Osiris*, 4, 53–81.

- Pfundt, H. (1981). Pre-instructional conceptions about transformations of substances. *Representation of Physics and Chemistry Knowledge*, 320–341.
- Pickering, A. (1981). The Hunting of the Quark. *Isis*, 72(2), 216–236.
- Pickering, A. (1989). Living in the material world. In D. Gooding, T. Pinch, & S. Schaffer (Eds.), *The uses of experiment: Studies in the natural sciences* (First publ., pp. 275–298). Cambridge: Cambridge University Press.
- Porlán, R., Rivero, A., & Martín del Pozo, R. (1997). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I: Teoría, Métodos e Instrumentos. *Enseñanza de Las Ciencias*, 15(2), 155–171. Retrieved from <http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v15n2p155.pdf>
- Porlán, R., Rivero, A., & Martín del Pozo, R. (1998). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores II: Estudios empíricos y conclusiones. *Enseñanza de Las Ciencias*, 16(2), 271–288. Retrieved from <http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/21534/21368>
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227.
- Pozo, J. I., & Gómez Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Ediciones Morata, S. A.
- Priestley, J. (1772). Observations on different kind of air. *Philosophical Transactions*, 62, 147–264.
- Priestley, J. (1775). *Experiments and observations on different kinds of air* (Second edi.). London: J. Johnson.
- Prieto, T. (1996). Algunas consideraciones sobre la comprensión de los alumnos del concepto de combustión. *A Distancia*, (1), 74–79.
- Prieto, T., & Watson, J. R. (2007). Trabajo práctico y concepciones de los alumnos: la combustión. In M. Izquierdo, A. Caamaño, & M. Quintanilla (Eds.), *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar* (pp. 115 – 141). Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Prieto, T., Watson, J. R., & Dillon, J. S. (1992). Pupils' understanding of combustion. *Research in Science Education*, 22, 331–340.
- Pryde-Eubanks, L. (2008). Teaching and Learning with Chemistry in Context. *Educación Química*, 19, 289–294.
- Pyle, A. (2002). Boyle on science and the mechanical philosophy: a reply to Chalmers. *Studies in History and Philosophy of Science*, 33, 175–190.
- Quintanilla, M., Izquierdo, M., & Adúriz-Bravo, A. (2005). Avances en la construcción de marcos teóricos para incorporar la historia de la ciencia en la formación inicial del profesorado de ciencias naturales. *Enseñanza de Las Ciencias*, (Número Extra), 1–4.
- Ramos De Robles, L., & Espinet, M. (2013). Evolución del lenguaje en un proceso de

- modelización científica: una visión sociocultural y dialógica. *Enseñanza de Las Ciencias*, (IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las ciencias), 1579–1584.
- Raviolo, A., Garritz, A., & Sosa, P. (2011). Sustancia y reacción química como conceptos centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 8(3), 240–254.
- Real Academia Española. (2014). Diccionario de la lengua española.
- Reif, F., & Larkin, J. H. (1994). El conocimiento científico y el cotidiano: comparación e implicaciones para el aprendizaje. *Comunicación, Lenguaje Y Educación*, 6(1), 3–30. doi:10.1174/021470394321513834
- Reiner, M., & Gilbert, J. K. (2000). Epistemological resources for thought experimentation in science learning. *International Journal of Science Education*, 22(5), 489–506.
- Rengifo, L. A., & Zambrano, A. C. (2009). La epistemología de Toulmin como referente para la selección de contenidos en la enseñanza de la biología. *Tecné, Epistémé Y Didaxis*, (26), 123–141.
- Reyes, F., & Garritz, A. (2006). Conocimiento pedagógico del concepto de “reacción química” en profesores universitarios mexicanos. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11(31), 1175–1205.
- Robertson, A. D., & Shaffer, P. S. (2014). “Combustion always produces carbon dioxide and water”: a discussion of university chemistry students’ use of rules in place of principles. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 15(4), 763–776. doi:10.1039/C4RP00089G
- Roca, M. (2005). Las preguntas en el proceso de enseñanza- aprendizaje de las ciencias. *Educar.*, 33, 73–80.
- Roca, M., Márquez, C., & Sanmartí, N. (2013). Las preguntas de los alumnos: Una propuesta de análisis. *Enseñanza de Las Ciencias*, 31(1), 95–114.
- Rodríguez de Romo, A. C. (2011). La importancia de los documentos originales para el historiador. *Boletín Mexicano de Historia Y Filosofía de La Medicina*, 14(1), 23–25.
- Rodríguez, G., Gil, J., & García, E. (1999). *Metodología de la investigación cualitativa* (Segunda ed.). Málaga: Ediciones Aljibe.
- Rothbart, D. (1999). On the relationship between instrument and specimen in chemical research. *Foundations of Chemistry*, (1), 257–270.
- Ruiz-Medina, D. M., Martínez, L. F., & Parga, D. (2009). Creencias de los profesores de preescolar y primaria sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad, en el contexto de una institución rural. *Tecné, Epistémé Y Didaxis*, (25), 41–61.
- Ruiz-Ortega, F. J. (2007). Modelos didácticos para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 3(2), 41–60. Retrieved from https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CC4QFjAA&url=http://latinoamericana.ucaldas.edu.co/downloads/Latinoamericana3-2_4.pdf&ei=bCwuUcbE5Co8ASVvYCACQ&usg=AFQjCNFGMxDY8QwO7WpPX

- Saavedra, J. C. (2007). La ciencia como lenguaje y lo no mensurable en la construcción del conocimiento científico. *SUMMA Psicológica UST*, 4(1), 47–57.
- Sánchez Ron, J. M. (2011). *El poder de la ciencia. Historia social, política y económica de la ciencia (Siglos XIX y XX)* (Primera ed.). Barcelona: CRÍTICA.
- Sánchez, L. (2005). Concepciones de aprendizaje de profesores universitarios y profesionales no docentes: Un estudio comparativo Introducción. *Anales de Psicología*, 21(002), 231–243. Retrieved from <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/167/16721205.pdf>
- Sánchez-Blanco, G., & Valcárcel, M. V. (2000). ¿Qué tienen en cuenta los profesores cuando seleccionan el contenido de enseñanza? Cambios y dificultades tras un programa de formación. *Enseñanza de Las Ciencias*, 18(3), 423–437.
- Sandoval, C. A. (2002). *Investigación cualitativa* (Primera Ed.). Bogota: Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior, ICFES.
- Sanmartí, N. (2007). Hablar, leer y escribir para aprender ciencia. In P. Fernández (Ed.), *La competencia en comunicación lingüística en las áreas del currículo* (pp. 1–21). Madrid: Colección Aulas de Verano.
- Sanmartí, N., Izquierdo, M., & García, P. (1999). Hablar y escribir. Una condición necesario para aprender ciencias. *Cuadernos de Pedagogía*, (281), 54–58.
- Scerri, E. R. (2000). Philosophy of Chemistry — A New Interdisciplinary Field? *Journal of Chemical Education*, 77(XX), 1–4.
- Scheele, C. W. (1780). *Chemical observations and experiments on air and fire*. London: J. Johnson.
- Schubring, G. (1996). Tendencias actuales en la investigación sobre la historia institucional de la ciencia y su aplicación a la cultura islámica. *LLULL*, 19, 177–193.
- Schummer, J. (2010). The philosophy of chemistry. In F. Allhoff (Ed.), *Philosophies of the Science* (Vol. 27, pp. 163–183). Blackwell-Wiley. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12642145>
- Scott, J. W. (2001). Experiencia. *Ventana*, 13, 42–73. Retrieved from <http://148.202.18.157/sitios/publicacionesite/pperiod/laventan/Ventana13/ventana13-2.pdf>
- Seitz, F. (2004). Henry Cavendish: The Catalyst for the Chemical Revolution. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 148(2), 151–179.
- Seker, H., & Welsh, L. C. (2006). The Use of History of Mechanics in Teaching Motion and Force Units. *Science & Education*, 15(1), 55–89. doi:10.1007/s11191-005-5987-4
- Seroglou, F., & Adúriz-Bravo, A. (2012). Introduction: The Application of the History and Philosophy of Science in Science Teaching. *Science & Education*, 21(6), 767–770. doi:10.1007/s11191-011-9394-8
- She, H.-C., & Lee, C.-Q. (2008). SCCR digital learning system for scientific conceptual change and scientific reasoning. *Computers & Education*, 51(2), 724–742.

- Solbes, J., & Traver, M. J. (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química. *Enseñanza de Las Ciencias*, 14(1), 103–112.
- Solis Villa, R. (1984). Ideas intuitivas y aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de Las Ciencias*, 2(2), 83–89.
- Soto, L., & Guzmán, E. (2003). Contenidos actitudinales en educación superior. Razón, pertinencia y evaluación. *Revista Ciencias de La Educación*, 2(22), 103–118.
- Spencer, J. (1992). General chemistry course content. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 182–186.
- Stephens, A. L., & Clement, J. J. (2012). The Role of Thought Experiments in Science and Science Learning. In *Second International Handbook of Science Education* (pp. 157–175).
- Stiefel, B. M. (1996). Aproximación didáctica a textos científicos originales. *Alambique (Versión Electrónica)*, (08), 1–7.
- Sutton, C. (1998a). New perspectives on language in science. In B. Fraser & K. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 27–38). Gran Bretaña: Kluwer Academic Publishers.
- Sutton, C. (1998b). New perspectives on lenguaje in science. In B. Fraser & K. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 27–38). London: Kluwer Academic Publishers.
- Sutton, C. (2003). Los profesores de ciencias como profesores de lenguaje. *Enseñanza De Las Ciencias*, 21(1), 21–25.
- Talanquer, V. (2010a). Exploring Dominant Types of Explanations Built by General Chemistry Students. *International Journal of Science Education*, 32(18), 2393–2412. doi:10.1080/09500690903369662
- Talanquer, V. (2010b). Química agazapada. In J. A. Chamizo (Ed.), *Historia y filosofía de la química. Aportes para la enseñanza* (pp. 142–156). México, D. F.: Siglo XXI.
- Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry “triplet.” *International Journal of Science Education*, 33(2), 179–195. doi:10.1080/09500690903386435
- Talanquer, V. (2014). Desarrollando pensamiento químico en contextos sociales y ambientales. *Educació Química*, (17), 4–11.
- Talanquer, V., & Sevan, H. (2014). Chemistry in past and new science frameworks and standards: Gains, losses, and missed opportunities. *Journal of Chemical Education*, 91(1), 24–29. doi:10.1021/ed400134c
- Tamayo-Alzate, O. E., Orrego, M., & Dávila, A. R. (2008). Modelos explicativos de estudiantes acerca del concepto de respiración. *Revista IIEC*, 2(3), 50–63.
- Teixeira, E., Greca, I. M., & Freire, O. (2012). The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions. *Science &*

Education, (21), 771–796. doi:10.1007/s11191-009-9217-3

- Tenaglia, M., Alcorta, N., & Rocha, A. (2006). Los contenidos procedimentales en la formación de docentes en ciencias . Análisis preliminar para una carrera de formación universitaria. *Revista Iberoamericana de Educación*, 40(5), 1–10. Retrieved from <http://www.rieoei.org/deloslectores/1602Tenaglia.pdf>
- Texeira, J., & Coppes-Petricorena, Z. (2005). Análisis de los libros de texto recomendados por los programas oficiales para el ciclo básico de educación secundaria en Uruguay: El agua como tema de estudio. *Revista Iberoamericana de Educación*, 59(1), 1–8.
- Turner, H. D. (1956). Robert Hooke and theories of combustion. *Centaurus*, 4(4), 297–310.
- Urbina, S., Gallego, R., Pérez, R., & Gallego, A. P. (2008). Una construcción histórico - epistemológica del modelo del octeto para el enlace químico. *Tecné, Episteme Y Didaxis*, (23), 52–66.
- Valanides, N., Nicolaidou, A., & Eilks, I. (2003). Twelfth grade students' understanding of oxidation and combustion: using action research to improve teachers' practical knowledge and teaching practice. *Research in Science & Technological Education*, 21(2), 159–175. doi:10.1080/0263514032000127211
- Valbuena, É. (2007). *El conocimiento didáctico del contenido biológico: estudio de las concepciones disciplinares y didácticas de futuros docentes de la Universidad Pedagógica Nacional (Colombia)*. Universidad Complutense de Madrid.
- Vázquez, Á., Acevedo, J. A., Manassero, M. A., & Acevedo, P. (2001). Cuatro paradigmas básicos sobre la naturaleza de la ciencia. *Argumentos de Razón Técnica*, (4), 135–176.
- Velasco, M. (1998). Experimentación y descubrimiento: algunas reflexiones desde la epistemología de la experimentación. *Episteme*, 3(6), 137–143.
- Vera, F., Rivera, R., & Núñez, C. (2011). Burning a Candle in a Vessel, a Simple Experiment with a Long History. *Science & Education*, 20(9), 881–893. doi:10.1007/s11191-011-9337-4
- Viáfara, R. (2009). *El pensamiento de Darwin en las teorías evolutivas*. Cali: Universidad del Valle.
- Viennot, L. (1978). Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire. *Revue Française de Pédagogie*, 45(1), 16–24. doi:10.3406/rfp.1978.1688
- Vilches, A., & Gil, D. (2007). La necesaria renovación de la formación del profesorado para una educación científica de calidad. *Tecné, Episteme Y Didaxis*, (22), 67–85. Retrieved from http://www.uv.es/gil/documentos_enlazados/2008RenovFormProf.pdf
- Warner, D. (1990). What Is a Scientific Instrument, When Did It Become One, and Why? *British Society for the History of Science*, 23(1), 83–93.
- Watson, J. R., Prieto, T., & Dillon, J. S. (1995). The effect of practical work on students' understanding of combustion. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(5), 487–502.
- Watson, J. R., Prieto, T., & Dillon, J. S. (1997). Consistency of Students' Explanations about

- Combustion. *Research in Science Education*, 81(4), 425–443.
- Zambrano, A. C. (2009). *Historia y epistemología de los conceptos básicos de la termodinámica: calor, temperatura y trabajo*. Cali: Universidad del Valle.
- Zhang, Z. H., & Linn, M. C. (2011). Can generating representations enhance learning with dynamic visualizations? *Journal of Research in Science Teaching*, 48(10), 1177–1198. doi:10.1002/tea.20443
- Zuluaga, C. (2010). *Historia y epistemología de la química en la selección y secuenciación de contenidos: la construcción del concepto de átomo*. Universidad del Valle.
- Zuluaga, C. (2012). Historia y epistemología de la química en la selección y secuenciación de contenidos: la construcción del concepto de átomo. *Revista EDUCyT*, 5, 95 – 116.