



SECRETARÍA ACADÉMICA
COORDINACIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN DESARROLLO EDUCATIVO

***“La combustión: Secuencia Didáctica basada en la modelización para
abordar la reacción química en secundaria”***

Tesis que para obtener el Grado de
Maestra en Desarrollo Educativo

Presenta
Isabel Miguel López

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Dulce María López Valentín', is centered on the page below the author's name.

Directora de Tesis
Dra. Dulce María López Valentín

MIS MÁS SINCEROS AGRADECIMIENTOS:

A Dios por darme la oportunidad de existir y caminar siempre a mi lado.

Al CONACyT por brindarme el apoyo económico durante 2 años para realizar mis estudios de maestría y realizar una estancia en Valparaíso, Chile.

A la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, (PUCV), por aceptarme como estudiante de intercambio y a todos los profesores del Magister en Didáctica de las Ciencias.

En especial al Dr. Cristian Merino Rubilar por sus valiosas enseñanzas y apoyo incondicional.

A mi directora de tesis Dra. Dulce Ma. López Valentín por sus enseñanzas, paciencia, entusiasmo, comentarios y aportaciones a mi trabajo de tesis.

A la Dra. Flor de María Reyes Cárdenas, por su dirección inicial en esta tesis y por no abandonarme nunca.

Al Dr. Ángel Daniel López y Mota, por sus enseñanzas y sus valiosos comentarios al revisar este trabajo de tesis.

A la Dra. Alejandra García Franco, por su valioso tiempo para revisar este trabajo y sus acertados comentarios.

A la Dra. María del Carmen Urzúa Hernández por sus valiosos comentarios al revisar este trabajo de tesis.

DEDICO ESTE TRABAJO A LAS PERSONAS QUE SON MUY IMPORTANTES EN MI VIDA, EN ESPECIAL:

A mis padres †: Por darme la vida.

A mi esposo: Por su amor y por el apoyo incondicional que siempre me ha brindado.

A mis hijos: Vanessa y Axel, quienes son mi máximo proyecto de vida y que cada día me regalan esperanza, amor y alegría.

A mis hermanos: Jorge†, Israel, Ranulfo†, Guillermo, Lilia y Andrés† que desde mi infancia me han apoyado y han sido los pilares de mi familia.

A Leno: Quien da todo por los demás sin esperar nada a cambio y siempre ha creído en mí.

A Jaime y Margarita: Por su amor y su confianza.

A toda mi familia: Que es un ejemplo de Unión, Alegría, Fuerza y Solidaridad.

A mis compañeros de la Maestría: Meztli, Paola, Mirna, Martha, Lourdes y Agnán, que me contagiaron de su juventud y alegría, con quienes pasé 2 años de hermosas experiencias y aprendí algo valioso cada día.

A Nina, Marcelo y Lorena que me brindaron todo su apoyo durante mi estancia en su hermoso país.

A quienes han sido mis alumnos a lo largo de 20 años, porque de ellos he aprendido todo aquello que no se encuentra en ningún libro, sólo en el libro de la vida.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO 1	10
DEFINICIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO Y LA IMPORTANCIA DEL MISMO	10
1.1 Planteamiento del problema de investigación.....	10
1.2 Dificultades en el aprendizaje de la química	12
1.4 Preguntas de investigación	16
1.5 Objetivos de la investigación.....	17
Objetivo general.....	17
Objetivos específicos.....	17
1.6 Justificación	17
CAPÍTULO 2	20
LAS IDEAS PREVIAS DE LOS ALUMNOS Y SU UTILIDAD EN LA FORMULACIÓN DE PROPUESTAS DIDÁCTICAS.....	20
2.1 ¿Qué son las ideas previas?	20
2.2 Ideas previas sobre el cambio químico, en particular sobre la combustión	21
2.3 Clasificación de las ideas previas sobre la combustión según Andersson	24
2.4 Importancia de conocer las ideas previas del alumnado	28
2.5 Recopilación de ideas previas acerca del fenómeno de la combustión	30
CAPÍTULO 3	35
MARCO TEÓRICO.....	35
3.1 Fundamento Epistemológico. Modelos	35
3.1.1 Los modelos según Giere.....	36
3.2 Enfoque didáctico. La modelización.....	39
3.2.1 La ciencia escolar	40
3.2.2 Actividad científica escolar.....	42
3.2.3 Modelos científicos escolares	43
3.2.4 Modelos científicos escolares en el estudio de la química	44
3.2.4.1 Los tres niveles de representación de la química en los modelos científicos escolares.....	46
3.3 El Modelo Científico Escolar de Arribo.....	48
3.3.1 Naturaleza y función del Modelo Científico Escolar de Arribo.....	49
3.4. Enfoque disciplinar. El cambio químico, principal objeto de estudio de la química	51

3.4.1	Importancia de las reacciones químicas.....	52
3.4.2	Discusión conceptual sobre el término reacción química.....	53
3.4.3	La combustión, ejemplo de cambio químico	54
3.4.4	Historia de la combustión	55
CAPÍTULO 4		59
MARCO METODOLÓGICO Y CONSTRUCCIÓN DE MODELOS		59
4.1	Metodología propuesta	59
4.2	Tipo de investigación/intervención	60
4.3	Instrumentos para recopilar la información	65
4.4	Construcción de los modelos teóricos que dan origen al MCEA expresados en los tres niveles de representación de la química	67
4.4.1	Modelo Explicativo Inicial y su construcción.....	69
4.4.1.1	Inferencia del Modelo Explicativo Inicial.....	70
4.4.2	Modelo curricular	71
4.4.2.1	Propósitos para el estudio de las Ciencias Naturales en la Educación Básica	72
4.4.2.2	Los Estándares Curriculares de Ciencias en la Educación Secundaria	73
4.4.2.3	El estudio de la química en la escuela secundaria	73
4.4.2.4	Los aprendizajes esperados para la asignatura de Ciencias III (Química)...	75
4.4.2.5	Inferencia del Modelo Curricular	76
4.4.3	Modelo científico.....	85
4.4.3.1	Fenómeno a modelizar	85
4.4.3.2	Inferencia del Modelo Científico.....	86
4.4.3.2.1	La entalpía en las reacciones químicas	91
4.4.3.2.2	Estado de transición	93
4.4.3.2.3	Energía de activación	94
4.4.3.2.4	Conservación de la materia.....	94
4.4.3.2.5	Reacción en cadena	95
4.4.3.2.6	El metano.....	95
4.4.3.2.7	Reacción de oxidación por el oxígeno: Combustión	96
4.4.3.2.8	Mecanismo de reacción	96
4.4.3.2.9	Calor de combustión del metano.....	98
4.4.4	Representación del Modelo Científico	101
4.5	Modelo Científico Escolar de Arribo	104
4.5.1	Construcción del MCEA para el fenómeno de la combustión.....	104

4.5.2 Criterios de diseño de la secuencia didáctica derivados del MCEA	110
CAPÍTULO 5.....	112
SECUENCIA DIDÁCTICA Y SU IMPLEMENTACIÓN	112
5.1 Las secuencias didácticas como estrategias de enseñanza	112
5.2 Estructura de la secuencia didáctica	123
5.3 Secuencia de contenidos a partir de los criterios de diseño del MCEA	124
5.4 Selección y diseño de las actividades didácticas	131
5.4.1 Planeación docente	131
5.4.2 Actividades de inicio o exploración (Fase 1).....	134
5.4.3 Introducción de nuevos puntos de vista (Fase 2)	135
5.4.4 Actividades de Síntesis (Fase 3).....	139
5.4.5 Aplicación o generalización (Fase 4)	140
5.5 Pilotaje de la secuencia didáctica	143
CAPÍTULO 6	146
ANÁLISIS DE LOS DATOS Y RESULTADOS	146
6.1 Aplicación definitiva	146
6.2 Ruta de análisis	146
6.3 Análisis de los datos acumulados.....	147
6.3.1 Forma en que se analizaron los datos del instrumento I e instrumento II	151
6.3.1.1 Análisis de los datos del instrumento I	152
6.3.1.2 Análisis de los datos del instrumento II.....	153
6.3.2. Resultados del instrumento I.....	154
6.3.2.1 Ejemplos representativos del Modelo Explicativo Inicial identificado	154
6.3.3 Resultados del instrumento II.....	164
6.3.3.1 Modelo Científico Escolar Logrado	164
6.3.4 Análisis comparativo de los resultados del instrumento I y el instrumento II..	180
6.3.4.1 Identificación del MEI en el total de la muestra.....	181
6.3.4.2 Identificación del Modelo Científico Escolar Logrado en el total de la muestra.....	184
6.3.4.3 Comparación de los modelos identificados MEI vs MCEL.....	188
6.4 Conclusiones	193
Aportaciones	204
Consideraciones finales.....	205
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	207
ANEXOS.....	216

“La química comienza en las estrellas. Las estrellas son la fuente de los elementos químicos, que son los componentes básicos de la materia”.

Peter Atkins

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la educación científica ha adquirido mayor relevancia por el impacto mundial que la ciencia y la tecnología han tenido tanto en la vida social como económica de las sociedades. Por ello, es necesario contar con una educación científica básica para “todos los ciudadanos” (Izquierdo, Sanmartí y Estaña, 2007) en la cual los aprendices reconozcan la ciencia como una actividad humana en permanente construcción, participen en el mejoramiento de su calidad de vida al tomar decisiones informadas relacionadas con el cuidado de la salud y el medio ambiente; desarrollen habilidades asociadas al conocimiento científico y comprendan desde la perspectiva de la ciencia escolar los diversos fenómenos, tanto físicos como químicos para aplicar el conocimiento a situaciones diversas de la vida cotidiana (López-Mota y Guerra 2011; SEP, 2011).

Sin embargo, pese a los esfuerzos realizados por lograr aprendizajes relevantes, nos encontramos ante un grave fracaso escolar y un creciente rechazo por parte de los niños y jóvenes hacia los estudios científicos (Gil et al., 2000). Esta situación ha provocado una seria preocupación que ha originado primero, intentos por renovar la enseñanza de las ciencias (Duschl, 1997) y segundo, el surgimiento a finales de los años ochenta de una nueva disciplina: la Didáctica de las Ciencias como un nuevo campo de conocimientos cuyas principales finalidades son las siguientes:

- a) Construir y comunicar el conocimiento científico tanto a personas expertas como no expertas, de tal forma que contribuya a su desarrollo personal (Izquierdo, 2003).
- b) Diseñar una auténtica actividad científica escolar (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009).
- c) Aportar soluciones para mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias (Izquierdo, Sanmartí y Estaña, 2007).
- d) La preparación de los adolescentes para ser ciudadanos de una sociedad plural, democrática y tecnológicamente avanzada (Gil et al., 2000).

Por su parte, desde la Didáctica de la Química –área en la que se circunscribe esta Tesis– se han publicado diversos trabajos, cuyo principal objetivo ha sido aportar tanto experiencias como investigaciones que le permitan al profesorado facilitar las formas de enseñanza de dicha ciencia, de tal forma que los estudiantes construyan y se apropien de los conocimientos

químicos necesarios para enfrentar con éxito los retos que la sociedad globalizada y competitiva, como en la que vivimos actualmente impone. Una sociedad en donde la ciencia y la tecnología avanzan a velocidad vertiginosa y ocupan un lugar fundamental tanto en el sistema productivo como en la vida cotidiana. Por ello es de suma importancia tal como lo sugiere el currículo (SEP, 2011), contar con una formación química básica, pero la enseñanza de las ciencias –en especial de la química– es una profesión compleja, por lo que es necesario que los profesores cuenten con un buen proceso de formación para ejercer la actividad docente con éxito (Sanmartí, 2002) y alejarse de la forma tradicional de enseñanza en la que aún muchos profesores se encuentran (Flores, Gallegos y Reyes, 2007) y en la que poco se ha podido avanzar.

Con base en lo anterior, creo que estamos en un buen momento para que el profesorado considere repensar, reestructurar y replantear su actividad docente, para lograr mejores resultados en los aprendizajes de los estudiantes y de esta forma sea posible alcanzar los propósitos de la educación científica. Por lo tanto, en este trabajo se plantea que mediante la modelización del cambio químico –previa elaboración de un Modelo Científico Escolar, al cual se le ha llamado “Modelo Científico Escolar de Arribo” (MCEA), que oriente este proceso– es posible que los estudiantes aprendan a construir mejores modelos explicativos, de tal forma que alcancen aprendizajes significativos, y desarrollen la habilidad de aplicar dichos aprendizajes en el contexto en el que se desarrollan.

Lo novedoso de esta investigación es que se valida¹ una secuencia didáctica diseñada mediante el MCEA para interpretar y explicar las transformaciones químicas. El MCEA funciona como un instrumento postulado *a priori*, que proporciona criterios teóricos y metodológicos para orientar tanto el diseño como la secuenciación de las actividades didácticas a realizar durante el desarrollo de esta propuesta y durante la actividad científica escolar (López-Mota y Rodríguez-Pineda, 2013; López-Mota y Moreno-Arcuri, 2014).

El contenido de cada uno de los capítulos que integran este trabajo de tesis se describe brevemente a continuación.

Capítulo 1. En este capítulo, se aborda la problemática relacionada con el aprendizaje del cambio químico y se plantea la importancia de atender dicha problemática. Así mismo, se plantean tanto las preguntas de investigación como los objetivos (general y específicos) que en su conjunto han de conducir este trabajo de investigación/intervención. Finalmente se justifica, el empleo de la reacción de combustión como ejemplo de cambio químico para diseñar una secuencia didáctica basada en la modelización y se hace énfasis en su importancia de carácter económico y social que a través de la historia ha tenido para la humanidad.

Capítulo 2. A lo largo del capítulo 2, se presenta el producto de la investigación sobre las ideas previas que los estudiantes de diversos niveles educativos tienen sobre el cambio

¹ En este caso se está validando en términos de educación, ya que se evalúa la eficacia de la secuencia didáctica para que los estudiantes construyan modelos explicativos y den cuenta del cambio químico, se analizan los modelos construidos y se calcula en porcentaje qué tanto se aproximan al modelo propuesto (MCEA).

químico. Se profundiza en aquellas investigaciones que abordan el fenómeno de la combustión y se presta especial atención a las investigaciones que Andersson y colaboradores (1986, 1990) realizan en torno al mencionado fenómeno. Al final de este capítulo se presenta una recopilación de las ideas previas que tienen que ver con el fenómeno de estudio que me ocupa y es objeto de esta investigación.

Capítulo 3. En esta sección se configura el marco teórico que encuadra y sustenta esta propuesta. Se presentan los referentes: epistemológico, didáctico y disciplinar en donde como primer momento, se aborda el Modelo Cognitivo de Ciencia (MCC) planteado por Ronald Giere, los modelos y la modelización. Posteriormente, en el apartado que corresponde al campo de acción de la didáctica de las ciencias, se presenta la importancia de la ciencia escolar, la actividad científica escolar y la generación de los modelos científicos escolares para la enseñanza de las ciencias; se fundamenta la naturaleza y función del Modelo Científico Escolar de Arribo y su aplicación en la enseñanza de la química. Finalmente se cierra el capítulo con el aspecto disciplinar, al hablar sobre el cambio químico, la importancia de la química y de la combustión, como ejemplo de cambio químico.

Capítulo 4. Al inicio del capítulo, se describe la metodología a seguir para cumplir con los objetivos de esta investigación/intervención, así como el tipo de investigación en la que se ubica este trabajo. Posteriormente se describen y construyen los modelos: Modelo Explicativo Inicial (MEI), Modelo Curricular (MCu), Modelo Científico (MCi) y Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) propuestos por López-Mota y Rodríguez-Pineda (2013) y López-Mota y Moreno-Arcuri (2014). Al final del capítulo se enlistan los criterios de diseño de la secuencia didáctica derivados del MCEA.

Capítulo 5. En este capítulo se presenta la estructura de la secuencia didáctica en la que se incluyen actividades de inicio o exploración, de introducción de nuevos puntos de vista, de síntesis y de generalización (Sanmartí, 2002 y 2005). Así mismo se presenta la secuencia de contenidos, selección y diseño de las actividades didácticas, posteriormente se incluyen los resultados del pilotaje de la secuencia y los ajustes realizados con base en los resultados de dicho pilotaje.

Capítulo 6. Al inicio de este capítulo se presenta la ruta a seguir para analizar los datos obtenidos, se establecen las categorías de análisis y se explica también la forma en que se obtuvo el Modelo Explicativo inicial, así como los diferentes modelos identificados. Después se muestra la forma en que se obtuvo el Modelo Científico Escolar Logrado, el cual se comparó con el MCEA para saber en qué medida se logra alcanzar el modelo postulado. En la parte final del capítulo, se presentan las conclusiones en donde se indica si se cumplieron o no los objetivos planteados en este trabajo y se da respuesta a las preguntas de investigación. Para terminar, se expresan los aportes de esta investigación/intervención, así como las consideraciones finales.

“Todos nosotros sabemos algo. Todos nosotros ignoramos algo. Por eso, aprendemos siempre” ...

Paulo Freire

CAPÍTULO 1

DEFINICIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO Y LA IMPORTANCIA DEL MISMO

En este primer capítulo, se plantea la problemática relacionada con el aprendizaje del cambio químico y la necesidad de atender dicha problemática. Así mismo, se plantean tanto las preguntas de investigación como los objetivos (general y específicos) que en su conjunto han de conducir este trabajo de investigación/intervención. Al final del capítulo, se hace énfasis en la importancia de carácter histórico, económico y social, que la combustión ha tenido para la humanidad; con lo cual se justifica el empleo de este fenómeno como ejemplo de cambio químico para diseñar una secuencia didáctica basada en la modelización.

1.1 Planteamiento del problema de investigación

Para los estudiantes de tercer grado de secundaria cuya edad oscila entre los 14 y los 15 años, la asignatura de Ciencias III con énfasis en química es, en realidad, su primer acercamiento al estudio de la química. El tema de reacción química² se encuentra ubicado en el tercer bloque de la mencionada asignatura y es un tema fundamental, ya que es la base para que los estudiantes construyan explicaciones sobre los cambios que ocurren en su entorno, para comprender que mediante las reacciones químicas es posible mantener todas las funciones de los seres vivos, y que gracias a ellas es posible obtener nuevos materiales o sustancias tales como: medicamentos, pinturas, textiles, jabones, plásticos y disolventes entre muchos otros materiales necesarios para la vida cotidiana, la salud y la alimentación que tienen relevancia no solo a nivel individual, sino también a nivel social.

El Plan de Estudios SEP (2011) establece que el principal objetivo de esta asignatura es lograr que los estudiantes adquieran una formación química básica, de tal forma que se formen como ciudadanos capaces de tomar decisiones informadas y razonadas, con base en la argumentación, la comunicación y el pensamiento crítico; con lo cual se favorezca su formación integral.

² En este trabajo los términos de reacción química y cambio químico se emplearán de forma indistinta.

Sin embargo no ha sido posible cumplir con las expectativas del currículo, debido a que durante muchos años la enseñanza tradicional de la química ha consistido en repetir la definición de conceptos por memorización, con lo que ha sido presentada como un conjunto de conocimientos estáticos de muy poca utilidad para los estudiantes, “*como un quehacer fundamentado en la observación ingenua, que se apoya en un único método científico*” (Borda y Erazo 2010, p.42); esta situación ha propiciado que no se alcancen aprendizajes significativos ni se supere el fracaso escolar, así como la poca elección por la química al decidir estudiar una carrera universitaria.

A continuación, se describe con mayor detalle la forma en que tradicionalmente se enseña la química:

Una de las formas habituales de enseñar la química, es presentar la teoría atómica, los símbolos, fórmulas y ecuaciones, tratando de organizar con ello un universo químico (Caamaño, 2003). Con esta forma de enseñanza, el alumnado no comprende los fenómenos químicos porque no hay relación con aquello que se observa cotidianamente (Driver, Guesne y Tiberhien, 1989; Izquierdo et al., 2007) y porque no es fácil transitar del nivel macroscópico (el mundo de lo visible y lo tangible) al nivel sub-microscópico³ (el mundo de lo invisible y abstracto) sobre todo si no se experimenta con fenómenos cotidianos que sean familiares para el alumnado (Johnstone, 1982, 1991; Hatziniquita et al., 2005; Galagovsky, 2013; Chittleborough, 2014).

Considero que con esta forma de enseñanza el estudiante siente que “le cae encima” una lluvia de conceptos, símbolos y fórmulas que no entiende. Por lo tanto, sólo aprenderá de memoria el lenguaje simbólico, algunas leyes, definiciones de conceptos y teorías vacías que de ninguna manera significa aprender o entender la química.

Otra forma de enseñar la química es de manera pasiva, expositiva y transmisiva, en donde el docente es dueño de la autoridad y de la palabra. De forma fragmentada, se presentan algunos experimentos aislados a manera de “receta de cocina” y cada lección describe un nuevo fenómeno que no conecta con el anterior. De esta manera se imposibilita que los estudiantes construyan modelos explicativos (Sanmartí, 2005; Izquierdo et al., 2007) necesarios para comprender y en lo posible predecir los fenómenos químicos relacionados con el mundo que les rodea (Caamaño, 2003)

³ Reyes (2006, p.7) argumenta que de acuerdo con Reyes-C y Garritz (2006) “*actualmente se utiliza el concepto nanoscópico en lugar de microscópico o submicroscópico, ya que las moléculas miden del orden de nanómetros*”. Aunque estoy de acuerdo con la aseveración de estos autores, en este trabajo se asumirá el nivel submicroscópico planteado por Johnstone (1982, 1991, 1993) como el nivel atómico.

1.2 Dificultades en el aprendizaje de la química

Al revisar la literatura se evidencia que la comprensión y el aprendizaje de los principios que rigen los cambios químicos siempre han resultado difíciles para los estudiantes de todos los niveles educativos, por lo que ha representado un reto para los docentes lograr que el alumnado alcance aprendizajes significativos (Izquierdo, 2004; Izquierdo et al., 2007). La principal dificultad radica en que la química es una ciencia compleja y abstracta cuyos fenómenos de estudio no son fáciles de caracterizar o hacer evidentes, sobre todo cuando se trabaja con gases (Watson, Prieto y Dillon, 1997; Prieto y Watson, 2007). Además, para comunicar esta ciencia es necesario emplear un lenguaje de símbolos y fórmulas, –diferente del lenguaje coloquial– manejar sus instrumentos, relacionar sus conceptos y emocionarse con su mística (Quintanilla et al., 2010). Por lo tanto, es muy importante que el tema de cambio químico sea comprendido por los alumnos, ya que de lo contrario se pueden generar obstáculos epistemológicos en el aprendizaje subsecuente (De Vos y Verdonk, 1985a).

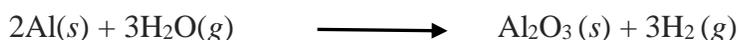
A continuación, se enlistan las principales dificultades que obstaculizan la comprensión de la química y en particular del cambio químico:

1. La complejidad y abstracción de los contenidos (Gabel, 1998; Pozo y Gómez-Crespo, 1998; Izquierdo, 2004; Izquierdo et al., 2007).
2. La persistencia de las concepciones alternativas que los alumnos poseen al llegar al aula, las cuales permanecen aún después de la instrucción escolarizada (Driver et al., 1989; Garritz, 2000a; Treagust, Duit y Nieswandt, 2000). La tendencia a explicar los fenómenos químicos con base en las propiedades físicas de las sustancias, sin comprender que la química se modela con átomos, iones y moléculas. Esta tendencia se debe a la gran influencia de lo perceptivo (Driver et al., 1989; Furió y Furió, 2000; Galagovsky et al., 2003; Hatzinikita, Koulaidis y Hatzinikitas, 2005; Chittleborough, 2014).
3. Los términos cuyo significado es diferente en la química respecto al entorno cotidiano, por ejemplo: sustancia, pureza, ácido, base, radio; entre otros (Hernández y López, 2009).
4. Considerar a la materia de naturaleza continua (Carbonell y Furió, 1987, Pozo y Gómez Crespo, 1998; Kind, 2004; Merino y Sanmartí, 2008; Merino e Izquierdo, 2011).
5. Pensar que las situaciones estables no precisan alguna explicación. Los estudiantes se interesan más en aquellas situaciones donde son visibles los cambios que en las que permanecen estables, y consideran que solamente las primeras requieren una explicación (Hierrezuelo y Montero, 1989).
6. La sustancialización de las propiedades de los reactivos. Esto implica un razonamiento en donde se plantea al cambio químico como una transformación de las propiedades de las sustancias, no como un cambio que ocurre en la estructura de las mismas (Martín Del Pozo, 1998).

7. La confusión que suelen tener los estudiantes al considerar que los cambios de estado y las disoluciones son cambios químicos (Kind, 2004).
8. La construcción de modelos híbridos para explicar los fenómenos y hacerlos compatibles con sus ideas previas (Treagust, Duit y Nieswandt, 2000; Hernández y López, 2009).
9. Los tres niveles de representación de la química, en donde los docentes transitan cómodamente al pensar y explicar los fenómenos químicos, mientras que para los alumnos dominar estos niveles de representación no resulta sencillo (Johnstone, 1982, 1991, 1993; Gabel, 1998; Mocerino, 2009).

Estos niveles de representación son los siguientes:

- a) Nivel macroscópico: el mundo de lo visible y lo tangible, es decir las características observables del fenómeno en cuestión.
- b) Nivel sub-microscópico: el mundo de los átomos, iones y moléculas.
- c) Nivel simbólico: las representaciones con letras, signos, símbolos, números, flechas, líneas o paréntesis; en otras palabras: las ecuaciones químicas. Por ejemplo:



Para expresar y comprender el nivel simbólico, los químicos han desarrollado un lenguaje especializado que es diferente al lenguaje coloquial (Pozo y Gómez-Crespo, 1998; Izquierdo et al., 2007, Quintanilla et al., 2010). Ver figura 1.1

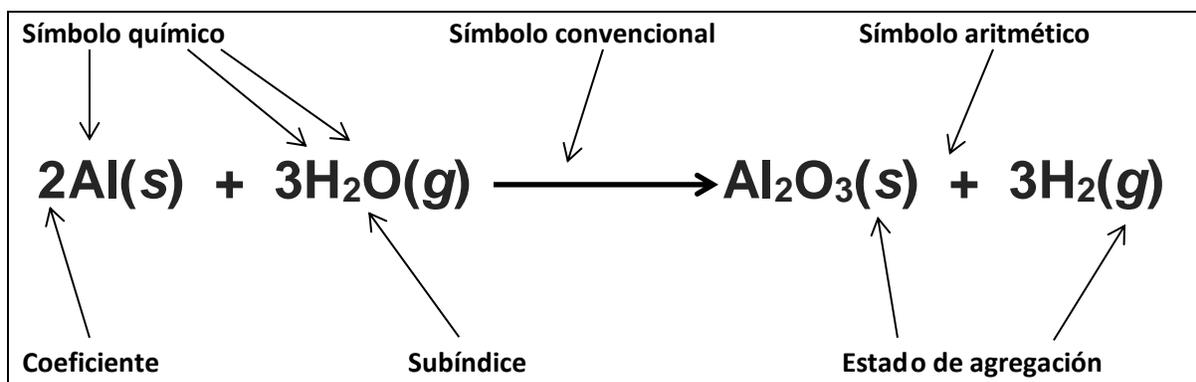


Fig. 1.1. Ejemplo de una reacción química.

En donde:

El símbolo químico representa al elemento químico participante.

El coeficiente estequiométrico indica la cantidad de moléculas de cada sustancia que reaccionan.

El subíndice indica el número de átomos de cada elemento presente en los reactivos y en los productos.

El símbolo aritmético “+” en los reactivos significa combinar y en los productos indica que se produce una y otra especie.

El símbolo convencional es una flecha, → y significa “produce.”

El estado de agregación indica si la sustancia participante se encuentra en estado sólido (s), líquido (l) o gaseoso (g) o en disolución acuosa (ac).

Los factores arriba enlistados permiten comprender que existen obstáculos epistemológicos difíciles de superar. A este respecto, considero que uno de los factores con mayor peso es el que se refiere a la dificultad que tienen los alumnos para comprender y manejar los tres niveles de representación de la química planteados por Johnstone (1982, 1991, 1993). Ver figura 1.2.

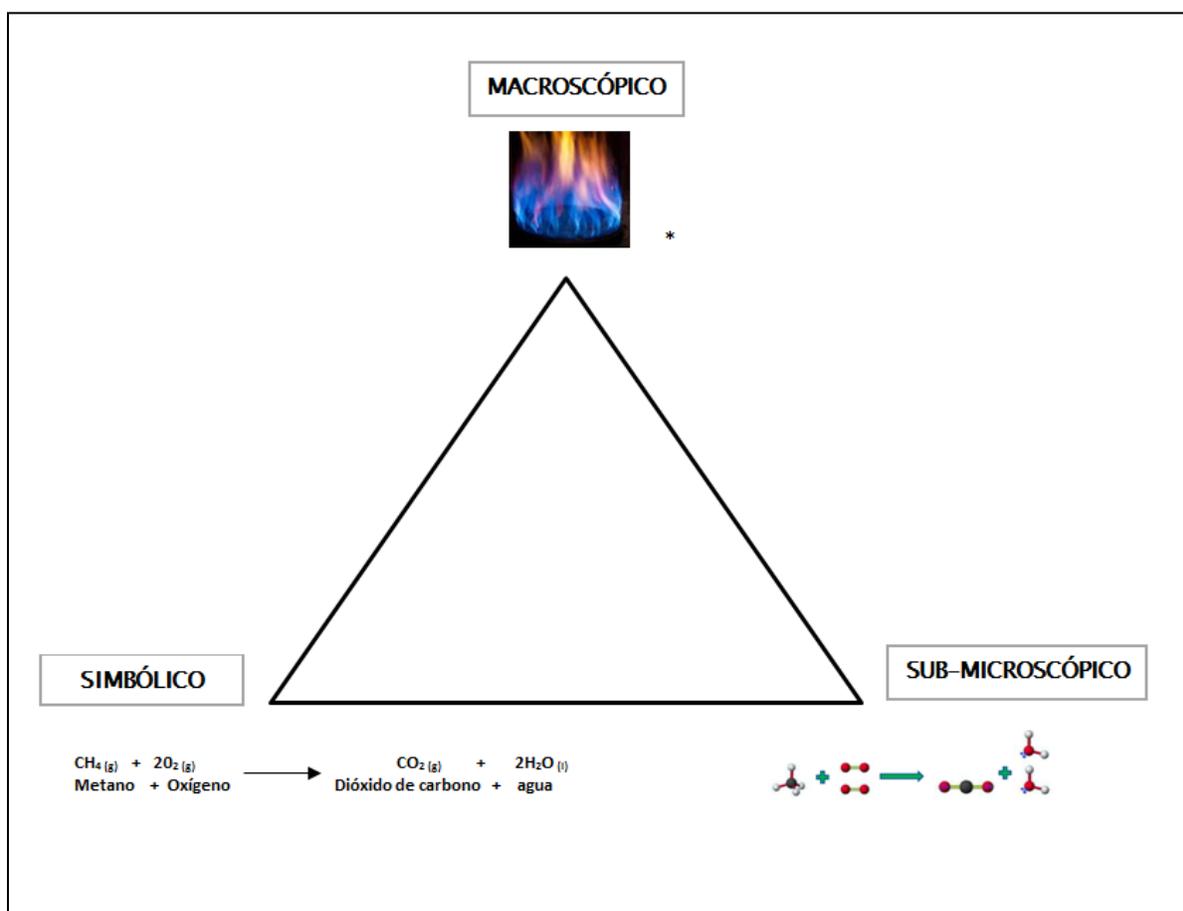


Fig. 1.2. Los tres niveles de representación de la química (Johnstone, 1982, 1991, 1993). Adaptado para la reacción de combustión. * El combustible que se ve arder en la figura es gas butano.

Lo anterior ocurre porque en general los estudiantes centran su atención en las características evidentemente cambiantes de la materia –lo que se puede ver o tocar– debido a la influencia de la percepción a través de los sentidos (Driver et al., 1989; Hatzinikita, Koulaidis y

Hatzinikitas, 2005; Chittleborough, 2014). Dicha influencia no les posibilita pensar que la transformación ocurre a nivel sub-microscópico, mediante la interacción química, en donde los enlaces que mantienen unidos a los átomos de un material se rompen -al suministrar un tipo de energía- y se reorganizan para formar nuevos enlaces en un material diferente, cuyos elementos químicos se conservan en la misma cantidad.

1.3 Dificultades respecto a la enseñanza de la química

De acuerdo con Gabel (1998) y Garritz (2000b) la falta de conexión de los fenómenos estudiados por la química con el mundo real es una práctica común entre los docentes, además de fomentar la memorización de conceptos, la resolución de problemas de tipo algorítmico y seguir el enfoque de los libros de texto.

En opinión de Hernández y López (2009, p.158) durante el proceso de enseñanza de la química se generan dificultades de aprendizaje porque:

- Al alumno se le presentan conceptos y teorías de forma acabada.
- En los libros de texto se presentan teorías híbridas.
- Se atiende poco y, de manera superficial lo relativo a la estructura de las sustancias.
- Los docentes manejan conceptos en un contexto reduccionista de su significado.
- Frecuentemente se utilizan algoritmos que no buscan la comprensión de los procesos sino su aplicación de forma mecánica.
- Muchas veces se emplea una secuenciación inadecuada de los temas que se enseñan.

Aunado a lo anterior –de acuerdo con mi experiencia– me he percatado que muchos docentes enseñan conceptos aislados, en lugar de enseñar a modelizar el cambio químico, lo cual incrementa las dificultades de aprendizaje y comprensión de los fenómenos químicos.

Por otra parte, es imprescindible que los alumnos perciban a la materia de forma discontinua (Merino y Sanmartí, 2008; Hernández y López, 2009; Merino e Izquierdo, 2011) para poder asimilar y comprender que los elementos químicos que se encuentran en los reactivos, son los mismos que se conservan en los productos. Aunque no es posible detectar a través de los sentidos lo que se conserva en un cambio químico, es necesario visualizar a las sustancias en términos de partículas y emplear modelos explicativos para comprender lo que sucede durante una reacción química.

Driver et al. (1989) opinan que, para comprender la conservación de la materia durante una reacción química, es necesario entender que la materia está formada por átomos los cuales son indestructibles.

Ante las dificultades para comprender el cambio químico que se han presentado con anterioridad, surge la preocupación de buscar nuevas formas de abordar el estudio de los fenómenos químicos, de manera que:

- a) Sean comprensibles “para todos los estudiantes” (Izquierdo, 2004).
- b) Se relacione la teoría con la práctica mediante la experimentación, la explicación y la intervención de los fenómenos propios de la química (Gabel, 1998; Izquierdo, 2007; Prieto y Watson, 2007; Chittleborough, 2014).
- c) Sea posible desarrollar en el alumnado tanto habilidades cognitivo-lingüísticas como la capacidad de tomar decisiones que contribuyan a su desarrollo personal (Izquierdo, 2003; Izquierdo et al., 2007).
- d) Los estudiantes comprendan y expliquen los fenómenos químicos que ocurren en la naturaleza de manera significativa (Quintanilla, et al., 2010) de tal forma que puedan en consecuencia, intervenir en ellos.
- e) Los alumnos sean capaces de explicar el cambio químico en términos de interacción molecular y de intercambio de átomos, ya que ellos saben que el cambio sucede, pero no saben cómo explicarlo (Chittleborough, 2014).

Por lo tanto, en este trabajo se considera que el Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) constituye la base teórica para el diseño y desarrollo de una secuencia didáctica con la finalidad de modelizar el cambio químico (López-Mota y Rodríguez-Pineda, 2013; López-Mota y Moreno-Arcuri, 2014). A través de esta secuencia se pretende potencializar en los estudiantes habilidades de pensamiento, lenguaje y acción para interpretar, comprender y comunicar las características del cambio químico, no en términos de conceptos; sino en términos de modelos. El MCEA es una importante aportación a la Didáctica de la Química, para proponer soluciones desde la enseñanza a los problemas de aprendizaje que cotidianamente enfrentan los estudiantes en relación con los fenómenos químicos.

1.4 Preguntas de investigación

¿Logra una muestra de estudiantes de educación secundaria alcanzar, mediante una secuencia didáctica diseñada con criterios teóricos y metodológicos específicos, un modelo científico escolar –postulado *a priori*– que le permita explicar la reacción química a partir del fenómeno de la combustión?

Es decir:

1. ¿En qué medida logran los estudiantes participantes en este estudio alcanzan el modelo postulado?
2. ¿Cuáles son los modelos alcanzados por la muestra mencionada.

1.5 Objetivos de la investigación

Objetivo general

Poner a prueba un referente apriorístico a alcanzar –en forma de hipótesis directriz, denominado Modelo Científico Escolar de Arribo–, el cual proporciona criterios teóricos y metodológicos específicos que permiten intervenir mediante una secuencia didáctica en la construcción de conocimiento sobre la reacción química en una muestra de estudiantes de educación secundaria.

Objetivos específicos

1. Construir el Modelo Científico Escolar de Arribo a partir de las ideas previas de los estudiantes, los planes y programas de estudio de 3º de secundaria de química y el contenido científico, previa homogeneización de la información en forma de modelos, sobre el fenómeno del cambio químico.
2. Diseñar una secuencia didáctica basada en modelos y modelización a partir del Modelo Científico Escolar de Arribo con base en criterios teóricos y metodológicos.
3. Conocer los modelos alcanzados por los estudiantes para explicar la reacción química, –específicamente la combustión– y valorar qué tan cercanos son al Modelo Científico Escolar de Arribo.

1.6 Justificación

Vivimos rodeados de cambios químicos que ocurren en todo momento y en todo lugar (en la atmósfera, en las fábricas, en los vehículos o en nuestro organismo). Éstos son indispensables para el desarrollo y funcionamiento de la vida, son la base del progreso del hombre, pero también pueden causar grandes problemas biológicos, ambientales y sociales si no se tiene el debido conocimiento de cómo y por qué ocurren. Por ello, es importante aprender sobre su naturaleza, riesgos y utilidad.

Una vez que la humanidad logró el conocimiento de las fórmulas y leyes que rigen las combinaciones químicas, ha querido entender la naturaleza de las mismas para poder sujetarlas a su voluntad. Gracias a la investigación, desarrollo y conocimiento de las reacciones químicas, se han realizado importantes avances científicos, que satisfacen necesidades y proporcionan comodidades al hombre.

Pero como se ha mencionado con anterioridad, la comprensión del cómo y por qué ocurren las reacciones químicas no ha resultado fácil para el alumnado, por lo que es urgente buscar nuevas alternativas de enseñanza que posibiliten la comprensión y la explicación de los fenómenos químicos por parte de los estudiantes.

La reacción química es un tema medular en la enseñanza de la química (De Vos y Verdonk, 1985a; Caamaño, 2003) ya que permite al alumno comprender los procesos de transformación de la materia, la relación que existe entre las propiedades de los materiales y su estructura, la afinidad de unas sustancias hacia otras, los criterios que rigen la espontaneidad de los cambios químicos, la energía implicada en tales cambios y la conservación de los elementos químicos tanto en los reactivos como en los productos.

En opinión de Garritz (1997) las reacciones químicas son la mayor ocupación de la química, porque mediante su estudio es posible ofrecer bases teóricas que expliquen por qué algunas ocurren mientras que otras no, puesto que en muchas ocasiones no es suficiente sólo proveer información empírica para la explicación de los cambios químicos.

De acuerdo con Kind (2004) además de la dificultad que presentan los alumnos para la distinción entre elementos, compuestos y mezclas, aparece la del entendimiento del cambio químico. La autora sugiere que, para ayudar a los alumnos a formular una idea clara de la reacción química, este tema debe enseñarse a partir de un conjunto de fenómenos cotidianos que propicien la observación, el cuestionamiento y la argumentación. Al tomar en cuenta la sugerencia de Kind (2004) en este trabajo se propone modelizar el cambio químico mediante el empleo de la reacción de combustión, con la intención de construir explicaciones próximas a las de la ciencia y dar cuenta de los fenómenos químicos que comúnmente ocurren en el entorno.

La modelización de los fenómenos químicos es una alternativa de enseñanza que conduce al profesorado de ciencias a reflexionar, repensar, reestructurar y replantear su actividad docente mediante el diseño, instrucción y evaluación de la actividad científica escolar (Izquierdo, 2003; Izquierdo et al., 2007) con la finalidad de propiciar el desarrollo de habilidades cognitivas lingüísticas en el alumnado, así como la capacidad de tomar decisiones que contribuyan a su desarrollo personal (Izquierdo, 2003).

He decidido trabajar el ejemplo de la combustión, por ser un fenómeno representativo de la reacción química que resulta cotidiano y familiar para el alumnado, por ser relativamente fácil de reproducir en condiciones de laboratorio escolar (e incluso hasta en el aula) y porque la energía que en esta reacción se genera, es ampliamente utilizada por el hombre en forma de energía calorífica y luminosa o trabajo. Con dicha energía es posible satisfacer necesidades tales como la cocción de los alimentos, la calefacción, el transporte o la puesta en marcha de diversos procesos industriales. Así mismo, la comprensión de este fenómeno puede ayudar a los estudiantes a evitar accidentes, ya sea en el hogar o en cualquier otro lugar donde manipulen sustancias o materiales combustibles; lo cual constituye una aplicación para la vida.

También creo que a través del estudio de este fenómeno es posible sensibilizar y concientizar al alumnado sobre las consecuencias que la quema de combustibles fósiles genera en el medio ambiente, para que eviten quemar plásticos, basura o desechos orgánicos. Además, despertar

en ellos el interés por la búsqueda de nuevos combustibles en caso de interesarse por la educación científica en el futuro.

Por otra parte, al interior del cuerpo humano también se lleva a cabo el fenómeno de la combustión el cual se conoce con el nombre de respiración, pero al ser una oxidación lenta no genera energía luminosa como las oxidaciones rápidas. La respiración constituye el motor de innumerables reacciones químicas que mantienen con vida a nuestro cuerpo; por lo que se reafirma la relevancia del fenómeno elegido para ejemplificar el cambio químico.

Una vez planteada la problemática de estudio y la necesidad de proponer alternativas didácticas para encontrar posibles soluciones hacia la comprensión de los fenómenos químicos, pasamos al siguiente capítulo en el cual se presentarán las ideas previas de los estudiantes sobre el cambio químico y, particularmente sobre la combustión.

“Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría éste: el factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averígüese esto, y enséñese en consecuencia”.

David P. Ausubel

CAPÍTULO 2

LAS IDEAS PREVIAS DE LOS ALUMNOS Y SU UTILIDAD EN LA FORMULACIÓN DE PROPUESTAS DIDÁCTICAS

En el presente capítulo se expone el producto de la investigación sobre las ideas previas que los estudiantes de diversos niveles educativos tienen sobre la reacción química. Se profundiza en aquellas investigaciones que abordan el fenómeno de la combustión y se presta especial atención en las investigaciones que Andersson y colaboradores (1986, 1990) realizan en torno a dicho fenómeno. Al final de este capítulo se presenta una recopilación de las ideas previas que tienen que ver con el fenómeno de estudio que me ocupa y es objeto de esta investigación.

2.1 ¿Qué son las ideas previas?

Las ideas previas⁴ también llamadas concepciones alternativas, ideas alternativas, creencias ingenuas, preconcepciones, concepciones erróneas, ideas equivocadas, concepciones intuitivas o razonamientos espontáneos son aquellas ideas que los alumnos tienen respecto a un determinado tema y que no son científicas (Wandersee, Mintzes y Novak, 1994). Para estos autores el término concepciones alternativas se refiere a las explicaciones que el alumno construye basado en la experiencia, para hacer inteligible un rango de fenómenos y objetos naturales. Se trata de explicaciones alternas a las científicas –de ahí el nombre alternativas– *“este nombre le confiere un respeto intelectual al estudiante que presenta y tiene estas ideas, lo que no sucede con las denominaciones de concepciones erróneas o ideas equivocadas”* (Reyes, 2006, p19). La indagación de estas explicaciones es una de las líneas de investigación con mayor consolidación en la Didáctica de las Ciencias y han sido motivo de diversos estudios durante los últimos treinta años (Gómez, 2008) de ahí que numerosas investigaciones basadas en la corriente cognoscitivista del proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, argumentan que *“lo que puede aprender un estudiante está*

⁴ En este trabajo el término concepciones alternativas e ideas previas se usarán de manera indistinta.

determinado fundamentalmente por los conocimientos previos que posee y por la ayuda que se le puede proporcionar durante la enseñanza” (Azcona et al., 2004, p.7).

Desde que Rosalind Driver inició el estudio de las ideas previas de los estudiantes en torno a los fenómenos naturales (Caamaño, 1998) se ha considerado de suma importancia que en todo proceso de instrucción se tomen dichas ideas como punto de partida (Izquierdo, Espinet, García, Pujol, y Sanmartí, 1999). Tal consideración obedece al planteamiento constructivista en el que se sostiene que el conocimiento se construye a partir de las propias ideas de los alumnos y al implicarlos en la construcción de nuevos saberes es posible lograr en ellos un aprendizaje significativo; es decir que sea relevante y tenga sentido para poder ser utilizado en la interpretación de los fenómenos tanto en la escuela como en el entorno social en el que se desarrollan (Izquierdo et al., 2007).

De acuerdo con lo anterior, considero importante mencionar que para Driver et al. (1989, p.27) las concepciones alternativas son aquellas ideas o explicaciones que tienen los estudiantes acerca de los distintos fenómenos aún sin recibir ninguna enseñanza sistemática al respecto, estas concepciones se generan principalmente a partir de las experiencias cotidianas, las actividades físicas, las conversaciones con otras personas, y de la información de los medios de comunicación. Tales ideas representan modelos coherentes de conocimiento que persisten aún después de largos periodos de instrucción escolarizada (Driver et al., 1989; Garritz, 2000a) y aunque pueden parecer incoherentes a la luz de la ciencia o del conocimiento escolar, no es así para los alumnos porque para ellos constituyen una serie de instrumentos cognitivos mediante los cuales se relacionan con la realidad.

Para Flores et al. (2004) los términos concepciones alternativas e ideas previas son equivalentes, ya que se refieren a la gran diversidad de representaciones y explicaciones que los alumnos tienen en torno a los fenómenos naturales antes de ser transformadas por la acción escolar.

Desde el punto de vista de Aduriz et al. (2011, p.56) *“Las ideas previas pretenden identificar la manera de pensar del estudiante, conocer su punto de partida y planificar su posible transformación hacia ideas más cercanas a las aceptadas por la ciencia regular”*.

Finalmente, aclaro que en esta propuesta emplearé el término ideas previas, porque de acuerdo con Flores et al. (2004) los investigadores de educación en ciencias y los profesores lo identifican con mayor facilidad.

2.2 Ideas previas sobre el cambio químico, en particular sobre la combustión

Las ideas previas de los estudiantes sobre el cambio químico han sido estudiadas por diversos autores (Méheut, 1982; Driver et al., 1985; Méheut et al., 1985; Carbonel y Furió, 1987;

Stravidou y Solomonidou, 1989; Anderson, 1986, 1990; Pozo y Gómez-Crespo, 1998; Watson, Prieto y Dillon, 1995, 1997; Hatzinikita et al., 2005; Reyes, 2006; Prieto y Watson, 2007; entre otros). Tales trabajos han servido de base para aquellos investigadores (Izquierdo, 2004; Izquierdo et al., 2007; Prieto y Watson, 2007; Merino y Sanmartí, 2008; Schwarz et al., 2009; Merino e Izquierdo, 2011) que han buscado establecer modelos explicativos acerca de la forma en que los alumnos comprenden dicho fenómeno.

A continuación, se presentan algunas de las investigaciones acerca de las ideas previas de los estudiantes sobre el cambio químico –en particular sobre la reacción de combustión– como primer acercamiento al tema. El análisis de las ideas previas expuestas servirá de base para la construcción del Modelo Explicativo Inicial (MEI) de los alumnos, este modelo se verá más adelante en el Capítulo 4.

De acuerdo con Caamaño (1998), una de las investigaciones más representativas sobre el cambio químico y que ha generado múltiples investigaciones es la que llevaron a cabo Driver y colaboradoras, cuyos resultados publicaron en 1985. Las autoras estudiaron las ideas previas de los estudiantes de 11-12 años de edad sobre la combustión y reportaron que “*al preguntar a los niños sobre lo que le sucedía a una tablilla de madera cuando ardía, la mayor parte de los alumnos describió lo que observaba en relación con las llamas, el humo y las cenizas; sin apuntar ningún mecanismo*” (Driver et al. 1989, p.240). Algunos hicieron referencia a la llama como si ésta disolviera o fundiera a la madera e incluso otros le asignaron propiedades antropomórficas al expresar que se “*comía*” a la madera. Cuando se les pidió a los niños que explicaran por qué al soplarle al fuego éste arde con mayor intensidad, cerca de un tercio de los niños explicaron que el oxígeno era necesario, pero no sabían exactamente en qué forma. Al hablar sobre las cenizas que quedan al final, algunos niños expresaron que eran el material incombustible de la madera y que pesaban menos que el material original porque el humo se había desprendido, dando por sentado que algo de la madera había desaparecido.

Driver et al. (1989) encontraron gran variedad de ideas previas en los estudiantes, pero en general observaron que todas ellas contemplaban una perspectiva basada en las observaciones macroscópicas (lo que podían ver, oler o tocar). Las características generales de esta perspectiva fueron descritas por las autoras (Driver et al., 1989, p.242) de la manera siguiente:

- 1) *La combustión implica que las cosas se pongan al rojo y aparezcan llamas.*
- 2) *El oxígeno (o el aire) es necesario (su función no aparece clara, pudiendo considerarse que “se consume” en el proceso).*
- 3) *Cuando arden, las cosas pierden peso.*
- 4) *La combustión arroja humo o parte del material se pierde en forma de humo, y*
- 5) *Los residuos sólidos o cenizas son las partes incombustibles de la madera (a menudo son de color gris o negro y en forma de polvo y se deshacen con facilidad).*

En lo relativo a la conservación de la materia, Driver et al. (1989) argumentan que la mayoría de los alumnos consideran que durante la combustión hay pérdida de peso –al que consideran como una sustancia– debida al oxígeno consumido, al humo que se desprende o a que parte del material desaparece quedando sólo las cenizas. Así mismo, las autoras reportan que estas ideas se mantienen tanto en los que han estudiado química como entre los que no lo han hecho.

Por su parte, Carbonell y Furió (1987) estudiaron las ideas previas que los alumnos de 13 a 18 años de edad de diferentes niveles educativos, tienen sobre el cambio sustancial en las reacciones químicas. De acuerdo a los resultados obtenidos llegaron a la conclusión que los alumnos basan sus explicaciones en la observación cualitativa de los cambios drásticos de las propiedades (aspecto, color, olor o formación de gases) de los materiales. Por otra parte, también argumentaron que las deficiencias presentadas por los estudiantes en cuanto a las interpretaciones conceptuales de la reacción química tienen amplia relación con la aplicación inadecuada de las ideas presentadas en el currículo.

Un ejemplo que presentan los autores es el siguiente:

Pregunta: *“Cuando se quema una pequeña cinta de metal magnesio se observa que arde muy vivamente, quedando como residuo un polvo blanco de una sustancia química”. Interpreta este fenómeno ayudándote de dibujos para representar los átomos que piensas existen en las sustancias iniciales y finales”.*

Respuesta: *“La llama desprende CO₂ y vapor de agua. El magnesio coge parte del oxígeno de los productos desprendidos de la llama y con esto se realiza otra combustión separándose los átomos de magnesio en otras sustancias. El polvo blanco tiene partículas más separadas adquiriendo un volumen mayor. Parte del Mg pasa a gas a la atmósfera junto con CO₂, H₂O, H⁺, etc.”* (Carbonel y Furió, 1987, p.8).

Stravidou y Solomonidou (1998) realizaron entrevistas a jóvenes de 12 a 18 años sobre el concepto de reacción química y de acuerdo a sus resultados ellos recomiendan que los docentes empleen en clase, ejemplos de reacciones sencillas, que inician con una sola sustancia y sufren una descomposición. Dichos autores analizaron la combustión del hidrógeno de acuerdo con la siguiente reacción $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$ y llegaron a la conclusión de que el profesorado debe tomar en cuenta que los estudiantes serán capaces de comprender la ecuación anterior, cuando hayan desarrollado la capacidad de interpretar el estado físico, la estructura y relación cuantitativa de los reactivos y productos, la dinámica de las interacciones entre partículas, así como los diversos factores que intervienen en una reacción real.

Con su investigación, ellos sostienen que los alumnos explican la reacción química en tres etapas:

- a) De acuerdo a la fenomenología del cambio (uso del sentido común).
- b) Con base en las observaciones a nivel macroscópico (percepción paulatina que las sustancias iniciales se transforman en nuevas sustancias).
- c) Y finalmente con el empleo del criterio químico para visualizar la estructura microscópica de la materia (desarrollo de la capacidad de abstracción).

En la página web del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET)⁵ de la UNAM, Flores et al. (2004) reportaron ideas previas de estudiantes de diferentes niveles educativos sobre la combustión⁶. Los mencionados autores explican que las ideas previas se refieren a concepciones que no han sido transformadas por la acción escolar, e indican que las ideas previas muestran la gran diversidad de representaciones que los alumnos tienen en torno a los procesos naturales y a los conceptos que los describen y explican. Algunos de los ejemplos reportados en esta página web se presentan más adelante en la tabla 1.

Por su parte Vanessa Kind (2004) ha realizado una investigación exhaustiva sobre “los errores conceptuales” o ideas previas de los estudiantes de química. Su investigación abarca diversos temas de química y diferentes niveles educativos. En lo relativo al cambio químico, la autora expone que los estudiantes a menudo confunden los cambios de estado y las disoluciones con reacciones químicas, de igual forma reporta que *“hay quienes también pueden pensar que la materia se acaba cuando ocurre una reacción química y, por tanto, sugerirán que la masa disminuye”* (Kind, 2004, p.67). Con relación a las concepciones alternativas referentes a la combustión, Kind (2004) considera que la familiaridad de los estudiantes con las cenizas que permanecen luego de quemar carbón o madera –y que son menos voluminosas que el material de inicio– puede contribuir a esta idea.

Así mismo, la autora apunta que *“los estudiantes no reconocen el papel del oxígeno en la reacción, y emplean el término combustión en un sentido no-químico”* (Kind, 2004, p. 78) ya que no consideran que haya una reacción con el oxígeno –debido a que el oxígeno es invisible–. También señala que algunos estudiantes piensan que el oxígeno “se agotó” o que se destruye durante la combustión, cuando una vela disminuye su tamaño es porque la cera se evapora e ignoran el papel de la flama.

2.3 Clasificación de las ideas previas sobre la combustión según Andersson

Andersson (1986, 1990) realizó una clasificación de las ideas previas sobre la combustión, para ello se basa en las investigaciones de Méheut et al., (1985) así como en las de Andersson y Renström (1981). A continuación, presento dichas investigaciones.

⁵ Actualmente Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT).

⁶ Última consulta realizada en febrero de 2014, la información ya no está disponible.

Méheut et al., (1985) entrevistaron a niños de 12 años de edad acerca de la combustión de la madera y el alcohol. Los investigadores realizaron junto con los niños diversos experimentos y observaron que en el tanque de condensación se formaba agua como producto de la combustión. Uno de sus alumnos llamado Fred explicó el fenómeno de la siguiente manera:

“Vapor de agua... no hay nada de agua en el alcohol. No veo qué está haciendo el vapor de agua aquí”.

De acuerdo con el pensamiento de Fred, si el alcohol no contenía nada de agua, ¿cómo es que le salía esta sustancia durante la combustión? Esto implica que Fred creía que el agua estaba formada dentro del alcohol y que durante la combustión se separaba y se hacía presente, pero no entendía cómo esto era posible si él no veía el agua en el alcohol. Este ejemplo fue utilizado posteriormente por Andersson (1986, 1990) para establecer una categoría a la que llamó **desplazamiento**.

De las entrevistas que Méheut (1985) realizó a sus alumnos surgió otro ejemplo muy interesante cuando un alumno entrevistado dice:

“Cuando se quema alcohol, hay vapor de alcohol... Cuando se calienta agua en una olla hay vapor de agua. A medida que el alcohol se quema se forma el vapor de alcohol”.

En esta idea previa el alumno considera que, al quemar alcohol, sólo se modifica el estado de agregación de la sustancia, al pasar de líquido a vapor. Andersson (1986, 1990) retomó este ejemplo y lo clasificó como **modificación**.

Andersson (1990:37) investigó sobre las ideas que tienen los alumnos de 12 a 16 años de edad sobre la combustión de la gasolina en el motor de un coche y realizó la siguiente pregunta a 2800 niños: *“Un coche pesa 1000 kg. El tanque se llena con 50 kg de gasolina. El auto se conduce hasta que el tanque de gasolina está vacío. El coche otra vez pesa 1000 kg. ¿Aproximadamente cuánto cree usted que pesan los gases de escape emitidos durante la combustión?”*

El investigador reportó que aproximadamente el 15 % de los alumnos contestó:

“La gasolina se consume en el coche y desaparece. Sólo una pequeña parte de la gasolina se convierte en gases de escape”.

De acuerdo con este ejemplo es claro que los estudiantes tienen la idea de que la materia puede desaparecer durante la combustión. Andersson (1990) clasificó a este tipo de ideas como **desaparición**.

Andersson y Renström (1981) encontraron otro tipo de ideas, cuando los investigadores preguntaron a 590 alumnos de sexto a noveno grado por qué al quemar un estropajo de hierro,

el metal que era brillante se vuelve oscuro y se incrementa el peso. Alrededor del 10% de los estudiantes contestaron:

“La lana de hierro se ha quemado, se ha convertido en carbón. El carbón pesa más”.

En este ejemplo resulta interesante que los estudiantes consideren que la lana de hierro se haya “convertido” en carbón. La conclusión a la que llegaron los investigadores se menciona más adelante.

En el problema planteado en los párrafos anteriores, en donde Andersson (1990, p.37) pregunta a los estudiantes que el tanque de un auto se llena con 50 Kg de gasolina, alrededor del 3% de los alumnos contestan:

“...parte de la gasolina se ha convertido en calor y en energía cinética”.

Anderson (1990) retoma el ejemplo de la investigación de Méheut (1985), en donde el investigador pide a los estudiantes expliquen por qué se forma agua durante la combustión. Un alumno contesta:

“se pueden ver pequeñas gotas de agua porque la llama caliente y el calor se apaga en forma de vapor y después de eso se convierte en agua”.

Con los resultados de estas investigaciones, Andersson (1990) estableció una categoría a la que llamó **transmutación** para agrupar las ideas en donde los estudiantes piensan que los materiales o las sustancias se “vuelven” o se “convierten” en otras. Otra posibilidad de transmutación es que parte de la sustancia se convierta en energía o que la energía se convierta en una sustancia.

De acuerdo con Andersson (1986, 1990) son pocos los alumnos que explican las transformaciones químicas en términos de **interacción química**, en donde una sustancia interacciona o se combina con otra para originar una nueva sustancia.

Por ejemplo, expone que al preguntar a los estudiantes sobre por qué al quemar un estropajo de hierro éste aumenta su peso, sólo alrededor del 2% de los alumnos contestan:

“El hierro se ha combinado con el oxígeno formando óxido de hierro y por lo tanto su peso ha aumentado”.

De los trabajos reportados sobre las ideas previas que tienen los estudiantes con relación al cambio químico –en particular sobre la combustión–, aquellos realizados por Andersson (1986, 1990) gozan de gran relevancia. Estos trabajos han servido de base para muchas investigaciones posteriores relacionadas con las transformaciones químicas.

En sus investigaciones Andersson (1986, 1990) puntualiza que en general los niños piensan que la materia es continua y estática, cuya estructura no tiene espacios vacíos (que puede ser dividida en granos o gotas, pero estas partículas son siempre continuas) debido a estas concepciones no es fácil para ellos explicar a nivel atómico el cambio químico. Andersson (1986, 1990) establece cinco categorías⁷ para clasificar las ideas previas que los estudiantes de 12 a 16 años de edad tienen sobre dicho tema. En el capítulo 4 se utilizan estas categorías para clasificar las ideas previas de los estudiantes, pero se han realizado adecuaciones para expresarlas en términos de modelos.

Por otra parte, Watson, Prieto y Dillon (1995, 1997) estudiaron y clasificaron –de acuerdo a las categorías propuestas por Andersson (1990)– las ideas previas de 150 alumnos de 14 y 15 años de edad, con respecto a la combustión de una vela cuando ésta se enciende en un recipiente y se apaga en pocos segundos. Los autores reportan en este estudio que la mayoría de los alumnos expresan sus explicaciones en términos de *transmutación* y *modificación* mientras que unos cuantos lo hacen en términos de **interacción química**. Algunos ejemplos de estas ideas son los siguientes:

“El oxígeno alimenta la flama y la masa no se conserva”.

“El oxígeno no se involucra en el cambio... la flama es la fuente de calor para la reacción”.

“Se trata de un proceso destructivo que puede liberar sustancias procedentes del combustible”.

De acuerdo con las ideas encontradas, los autores señalan que los alumnos no perciben la formación de sustancias como los gases y la existencia de átomos y moléculas. Así mismo consideran que para lograr que el alumnado avance gradualmente hacia una explicación en términos de reacción química, es importante que entienda sobre estos aspectos imperceptibles. Prieto y Watson (2007) también han empleado la clasificación propuesta por Andersson (1990). Estos autores han llevado a cabo un estudio sobre el nivel de comprensión que los alumnos de 14 a 15 años de edad, en España y en el Reino Unido, tienen sobre la combustión. De acuerdo con ellos, es importante que los docentes trabajen los ejemplos de combustión que los alumnos experimentan en su vida diaria, para que exista relación con lo que se enseña. Para clasificar las respuestas de los alumnos, los autores utilizaron las

⁷ Las categorías propuestas por Andersson (1986, 1990) son: Desaparición, Modificación, Desplazamiento, Transmutación e Interacción química.

categorías propuestas por Andersson (1990)⁸. Al aplicar dicho criterio encontraron cuatro grupos de alumnos:

1. Los que explican la combustión en términos de Transmutación.
2. Los que emplean habitualmente la Interacción química para dar su explicación.
3. Aquellos que están entre Interacción química y Transmutación.
4. Otros.

A manera de conclusión los investigadores reportaron que la mayoría de los alumnos explican el cambio químico en términos de Trasmutación (T) y muy pocos en términos de Interacción química (IQ).

Al final de este capítulo –en la tabla 1–se presentan ejemplos de ideas previas sobre el cambio químico y de manera específica sobre la combustión.

2.4 Importancia de conocer las ideas previas del alumnado

La importancia de conocer las ideas previas de los estudiantes sobre la reacción química ha sido documentada por diversos autores (Chastrette y Franco, 1991; Barker, 1999, 2001; Garritz, 2000; Azcona et al., 2004; Kind, 2004; Izquierdo, 2004; Reyes, 2006; Izquierdo et al., 2007; Merino y Sanmartí, 2008 y Merino e Izquierdo, 2011).

Garritz (2000b, p.291) sostiene que el conocimiento de las ideas previas de los estudiantes es importante en la enseñanza de la química porque permite:

- a) Tomar en cuenta al aprendiz como el principal factor del proceso enseñanza-aprendizaje.
- b) Evidenciar los “errores conceptuales” que presentan los alumnos y a través de ellos orientar la instrucción para que el aprendizaje se lleve a cabo.
- c) Diseñar una estrategia didáctica más específica y efectiva para el tema a estudiar.

Chastrette y Franco (1991) proponen una estrategia de enseñanza para el tema de la reacción química. De acuerdo con estos autores, cuando el docente se documenta sobre las concepciones alternativas que presentan los educandos antes del proceso de enseñanza y aprendizaje, la planificación de las actividades se facilita y es posible incluir experiencias prácticas, discusiones y debates, así como actividades de modelización adecuadas que permitan la construcción de los conceptos necesarios para la comprensión del cambio químico.

Por otro lado, Barker (1999) sugiere que, para la enseñanza de la reacción química, es necesario diseñar una secuencia en donde se dé prioridad a la discusión entre los estudiantes

⁸ Desaparición, Desplazamiento, Modificación, Transmutación e Interacción química.

sobre las explicaciones que dan a los fenómenos químicos, ya que de esta forma es posible conocer sus concepciones alternativas y a la vez orientar o reorientar las actividades para lograr los aprendizajes esperados. Este autor hace una serie de recomendaciones al diseñar una secuencia didáctica, a continuación, se enlistan las que a mi juicio he considerado de mayor importancia.

1. Incluir diversos experimentos y repetirlos con pequeñas variaciones.
2. Propiciar que el alumnado reconozca que una nueva sustancia se ha formado.
3. Mostrar reacciones que involucren generación de calor.
4. Introducir la idea de que cuando ocurre una reacción las partículas se reacomodan.
5. Ilustrar los principios que rigen las combinaciones químicas.

El autor manifiesta que es importante diseñar una secuencia diferente de la enseñanza tradicional, la cual generalmente inicia con el estudio de los átomos, pasa al de los elementos, las moléculas, los compuestos, las mezclas y finalmente al de la reacción química. En su propuesta, Barker (1999) sugiere iniciar con la reacción química y a partir de ésta desarrollar los demás conceptos⁹.

Azcona et al. (2004, p.7) comentan que *“lo que puede aprender un estudiante está determinado fundamentalmente por los conocimientos previos que posee y por la ayuda que le puede proporcionar la enseñanza”*, por lo que sugieren al profesorado de ciencias tomar en cuenta dichos conocimientos antes de iniciar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

De acuerdo con Kind (2004) los docentes se dan poco tiempo para descubrir las ideas de los niños y dirigirlas. Como resultado, los estudiantes exhiben un pensamiento muy enredado o confuso cuando intentan explicar los fenómenos del mundo desde el punto de vista de la ciencia. Por ejemplo, los estudiantes a menudo confunden los cambios de estado y las disoluciones con cambios químicos. Por ello se recomienda indagar las ideas previas para planear la enseñanza y favorecer en los estudiantes un buen entendimiento de los fenómenos químicos, ya que *“si esto no se toma en serio, la química se mantendrá como un misterio para muchos”* (Kind, 2004, p.18).

Reyes (2006) realiza un meta-análisis de las investigaciones sobre las ideas previas que los niños y jóvenes de diferentes niveles educativos tienen acerca de la reacción química. La autora considera que el conocimiento de las ideas previas es útil para el profesorado a la hora de seleccionar y secuenciar el currículo, de tal forma que permita la construcción de concepciones que sean más acordes con las que tiene la comunidad científica. La autora también explica que, en la elaboración de una secuencia didáctica útil para la enseñanza de las reacciones químicas, existen una serie de elementos a considerar (Reyes, 2006, p-134):

⁹ En nuestro caso se propone modelizar el cambio químico en lugar de aprender conceptos aislados.

1. Identificar, reconocer y aceptar las concepciones alternativas relativas al cambio químico.
2. Partir de un ejemplo claro que implique una transformación observable, facilite la comprensión del estudiante y lo aliente a dar una explicación sobre el cambio observado.
3. Propiciar espacios de discusión de las explicaciones de cada uno de los estudiantes para decidir con cuáles concepciones se debe trabajar primero.
4. Promover la búsqueda por parte de los estudiantes de un vocabulario adecuado para explicar el fenómeno.
5. Contar con un abanico de estrategias que puedan confrontar las concepciones alternativas de los estudiantes.

Al finalizar su investigación la autora concluye que *“al conocer las concepciones alternativas que tienen los alumnos será más fácil elaborar una propuesta metodológica para la comprensión del concepto reacción química”* (Reyes, 2006, p.128).

Con respecto al mismo tema otros autores (Izquierdo, 2004; Izquierdo et al., 2007, Merino y Sanmartí, 2008 y Merino e Izquierdo, 2011) han estudiado el fenómeno de la combustión y consideran la importancia de tomar en cuenta las ideas previas de los estudiantes antes de realizar una propuesta metodológica para la enseñanza y el aprendizaje de la reacción química, porque de esta forma se logrará diseñar una propuesta más efectiva que permita alcanzar los aprendizajes que sugiere el currículo. Sostienen que la modelización de este fenómeno a partir de los conocimientos previos que el estudiante ya posee, conduce a la formulación de modelos explicativos –mediante la actividad científica escolar– para comprender y explicar el cambio químico.

Tanto para López-Mota et al. (2012) como para López-Mota y Rodríguez-Pineda (2013), es posible atender de manera viable y fructífera los problemas relacionados con la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales, si se trabaja a partir de las ideas previas de los alumnos como base para la construcción del conocimiento, tal como lo indican Driver et al. (1989).

2.5 Recopilación de ideas previas acerca del fenómeno de la combustión

Una vez expuestas de forma breve algunas de las investigaciones sobre las ideas previas de los estudiantes, relacionadas con el cambio químico, así como la utilidad de conocer tales ideas para el diseño y desarrollo de una secuencia didáctica, presento a continuación las ideas previas que considero relevantes con relación al fenómeno de la combustión –ejemplo de cambio químico– reportadas por algunos de los autores anteriormente mencionados (ver Tabla 2.1).

AUTOR Y AÑO	REVISTA/LIBRO	IDEA PREVIA
Driver et al. (1985)	Las ideas científicas de los niños	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>“En la combustión, las cosas se ponen rojas y aparecen llamas”</i> 2. <i>“El oxígeno o el aire son necesarios y se consumen en el proceso, pero su función no queda clara”</i> 3. <i>“Residuos sólidos o cenizas son la parte incombustible y quedan como restos de color gris o negro y en forma de polvo o amorfa”</i> 4. <i>“Cuando algo se quema, queda la ceniza y algo desaparece y creo que pesa menos”</i> 5. <i>“En la combustión la llama se come a la madera”</i> 6. <i>“Gran parte del material se transforma en humo, quedando sólo la ceniza”</i> 7. <i>“Las cenizas son el material incombustible de la madera”</i>
Meheut et al. (1985)	European Journal of Science Education	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>“Metales, cera, agua, alcohol; de ellos se dice que funden o se evaporan y la sustancia se conserva”</i> 2. <i>“Madera, carbón, papel, aire, se transforman en otra sustancia o en nada sin conservación de la sustancia”</i>
Andersson (1986)	Science Education	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>“Al preguntar a los alumnos por qué se forma agua durante la combustión del alcohol, Fred responde: vapor de agua... no hay nada de agua en el alcohol. No veo qué es lo que el vapor de agua está haciendo aquí”</i> 2. <i>“Al hacer la misma pregunta en la combustión de la madera, Fred dice: Es difícil imaginar vapor de agua en la madera”</i> 3. <i>Al quemar un estropajo de hierro, los alumnos consideran que éste se ha transmutado a carbón y el carbón pesa más”</i>
Carbonell y Furió (1987)	Enseñanza de las ciencias	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>“Los alumnos basan sus explicaciones en la observación cualitativa de los cambios drásticos de las propiedades (aspecto, color, olor, formación de gases, etc...)”</i> 2. <i>“La llama desprende CO₂ y vapor de agua. El magnesio coge parte del oxígeno de los productos desprendidos de la llama y con esto se realiza otra combustión separándose los átomos de magnesio en otra sustancia. El polvo blanco tiene partículas más separadas adquiriendo un volumen mayor. Parte del Mg pasa a gas a la atmósfera junto con CO₂, H₂O, H⁺, etc.”</i>
Andersson (1990)	Studies in Science Education	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>“Cuando se pregunta sobre el peso de los gases del motor de un coche, muchos alumnos dicen que la gasolina se ha consumido y desaparecido”</i> 2. <i>“Cuando arde alcohol, muchos alumnos dicen que el alcohol se está evaporando”</i> 3. <i>“Una cinta de hierro es transmutada a carbón por la combustión”</i> 4. <i>“Parte de la gasolina se ha convertido en calor y en energía cinética”</i>

		5. <i>“Se pueden ver pequeñas gotas de agua porque el calor de las llamas se convierte en vapor y éste se vuelve agua”</i>
Ribeiro, Costa Pereira y Maskill (1990)	International Journal of Science Education	<i>“Los estudiantes tienden a considerar que un proceso es una reacción en función de criterios superficiales, sobre todo visuales.”</i>
Hesse y Anderson (1992)	Journal of Research in Science Teaching	<i>“Los alumnos no aplican el conocimiento microscópico de la materia a la explicación del cambio químico”</i>
Watson, Prieto y Dillon (1995)	Journal of Research in Science Teaching	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>“La combustión es un proceso destructivo que puede liberar sustancias procedentes del combustible”</i> 2. <i>“Durante la combustión, el combustible se transforma en otra sustancia o en nada”</i> 3. <i>“La sustancia cambia a una forma diferente pero continúa siendo la misma”</i>
Pozo y Gómez-Crespo (1998)	Aprender a enseñar ciencia	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>“Los alumnos basan sus explicaciones en la concepción continua y estática de la materia”</i> 2. <i>“Atribuyen el cambio a las propiedades macroscópicas”</i> 3. <i>“Sus explicaciones están basadas en el aspecto físico de las sustancias”</i>
Garriz (2000a)	Educación Química	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>“La persistencia de las ideas previas puede durar muchos años, incluso hasta el nivel universitario”</i> 2. <i>“Las ideas previas representan esquemas que no están de acuerdo con las concepciones científicas”</i> 3. <i>“Los estudiantes construyen su propio significado de las observaciones que hacen al realizar un experimento”</i> 4. <i>“Los alumnos construyen significados que contrastan con la esperada visión química”</i>
Flores et al. (2004)	CCADET, UNAM	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>“Combustión es quemar, descomposición o destrucción por calor”</i> 2. <i>“En la combustión, la flama/fuego es evidencia de una reacción química”</i> 3. <i>“La sustancia se transforma de una sustancia a otra o en nada, durante la combustión”</i> 4. <i>“En la combustión, los reactivos dan productos en una combinación química diferente”</i> 5. <i>En la combustión, una sustancia cambia a una forma diferente de la misma sustancia</i>
Kind	Más allá de las apariencias	1. <i>“Hay quienes también pueden pensar que la materia se acaba cuando ocurre una reacción química y, por tanto, sugerirán que la masa disminuye”</i>

(2004)		<ol style="list-style-type: none"> 2. “El papel del oxígeno casi no se comprende” 3. “Los combustibles cambian de estado de agregación y no se queman” 4. “Los combustibles se destruyen cuando se queman o se cambian a otra cosa”
Hatzinikita et al (2005)	Research in Science Education	<ol style="list-style-type: none"> 1. “Los materiales cambian de forma o de organización, pero siguen siendo la misma sustancia” 2. “El cambio ocurre a nivel microscópico y utilizan dicho argumento para explicar lo que observan a nivel macroscópico” 3. “El cambio se explica de forma naturalista (en donde el propio material cambia por si solo)”
Izquierdo, et al (2007)	Investigar en la enseñanza de la química	<ol style="list-style-type: none"> 1. “Los alumnos explican la aparición de agua y gases durante la carbonización de la madera, como una destilación de sustancias que ya estaban antes” 2. “Algunos alumnos insisten en que en la madera había savia, y que al calentarla se evapora”
Prieto y Watson (2007)	Investigar en la enseñanza de la química	<ol style="list-style-type: none"> 1. “Si quemas madera se obtienen humos y calor” 2. “Por arder entiendo que algo queda destrozado por un calor intenso” 3. “Cuando algo arde se ennegrece, se destroza y se funde” 4. “Todo el oxígeno ha sido consumido y esto produce un ligero vacío. Se ha formado algo pero no sé qué es” 5. “Cuando una sustancia arde reduce su tamaño, a veces libera gases. Los restos son cenizas blancas o negras” 6. “La llama está hecha de fuego, el cual está hecho de calor, oxígeno y combustible” 7. “La vela ha usado el aire para mantenerse viva. No sé si no lo puedo ver” 8. “Reacciona con el oxígeno del aire para dar llamas y mucho calor”
Merino y Sanmartí (2008)	Chemical Education Research and Practice	<ol style="list-style-type: none"> 1. “Los alumnos consideran que la materia es continua” 2. “Sus ideas están relacionadas con la transmutación”

Al analizar las ideas previas presentadas en la Tabla 1, observamos que los estudiantes en general consideran que la materia es continua y explican el cambio químico en términos macroscópicos. La mayoría tiende a considerar que durante la combustión los materiales se transmutan, otros consideran que los materiales desaparecen o solamente se modifican. Lo anterior ocurre porque como ya se ha mencionado, las interpretaciones de los alumnos en torno a los diferentes fenómenos químicos se ven altamente influenciadas por la percepción, lo que obstaculiza considerar las interacciones entre los componentes que participan en una

reacción química (Driver et al., 1989; Furió y Furió, 2000; Hatzinikita et al., 2005; Chittleborough, 2014).

Por lo tanto, para los alumnos resulta muy difícil explicar la combustión en términos microscópicos, es decir implicando una transformación química en donde:

- Hay ruptura de unos enlaces y la formación otros.
- Se parte de un tipo de sustancias y se forman otras.
- Las sustancias reaccionan en cantidades fijas y se conserva la masa, lo cual implica la conservación de los elementos químicos.
- La energía se conserva y, al ser unos enlaces más estables que otros, hay liberación de energía.

Y aunque esto sucede, es importante tomar en cuenta que *“los errores de los alumnos deben considerarse como etapas, totalmente normales, del desarrollo de sus ideas”* (Sanmartí, 2002, p.19) que se mantienen porque forman redes coherentes difíciles de abandonar (Hatzinikita et al., 2005).

Sin embargo, surge también la necesidad fundamental de planear la enseñanza mediante el diseño de una secuencia didáctica que posibilite la construcción de modelos explicativos por parte del alumnado para interpretar y dar cuenta del cambio químico de una manera más próxima a los modelos de la ciencia.

En este capítulo se han descrito las ideas previas que predominan en el alumnado, con las cuales se explican el cambio químico –en particular la combustión–. Es importante mencionar que el estudio de las ideas previas de los estudiantes fue la primera línea de investigación en la educación en ciencias y en la actualidad se habla en términos de modelos.

En el siguiente capítulo se presentará la fundamentación teórica que enmarca este trabajo de investigación/intervención.

“Enseñar no es transferir conocimiento, sino crear las posibilidades para su producción o su construcción. Quien enseña, aprende al enseñar y quien aprende, enseña al aprender”.

Paulo Freire

CAPÍTULO 3

MARCO TEÓRICO

Al inicio de este capítulo se presenta el marco teórico que encuadra y sustenta esta propuesta, en el cual se exponen los referentes: epistemológico, didáctico y disciplinar en donde como primer momento, se aborda el Modelo Cognitivo de Ciencia (MCC) planteado por Ronald Giere, los modelos y la modelización. Posteriormente, en el apartado que corresponde al campo de acción de la didáctica de las ciencias, se presenta la importancia de la ciencia escolar, la actividad científica escolar y la generación de los modelos científicos escolares para la enseñanza de las ciencias; se fundamenta la naturaleza y función del Modelo Científico Escolar de Arribo y su aplicación en la enseñanza de la química. Finalmente se cierra el capítulo con el aspecto disciplinar, al hablar sobre el cambio químico, la importancia de la química y de la combustión, como ejemplo de cambio químico.

El marco teórico que aquí presenta, se centra en los siguientes aspectos:

- a) Fundamento epistemológico: modelos.
- b) Fundamento didáctico: la modelización.
- c) Fundamento disciplinar: el cambio químico.

3.1 Fundamento Epistemológico. Modelos

A manera de introducción para este apartado, considero conveniente presentar un breve recorrido histórico que ilustra la enseñanza de las ciencias a través de modelos.

En la primera mitad del siglo XX, las ideas gestadas en el seno del llamado *Círculo de Viena*, –creador del positivismo lógico¹⁰– imperaban en la enseñanza de las ciencias. De esta forma se consideraba que las teorías científicas ocupaban un lugar protagónico y tenían prioridad lógica sobre los modelos, los cuales eran considerados entidades derivadas de ellas y, por lo

¹⁰ Corriente epistemológica de matiz neopositivista y neoanalítica que propuso modelos diseñados con un alto nivel de rigor, completitud y estructuración; “forma extrema de empirismo según la cual no sólo las teorías se justifican en la medida en que se pueden verificar apelando a los hechos conocidos mediante la observación, sino que además se considera que sólo tienen *significado* en tanto se puedan derivar de este modo” (Adúriz-Bravo et al., 2006:13).

tanto, jerárquicamente subordinados (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009). Posteriormente, en la década de los 60's los modelos pasaron a “*ser una aplicación particularmente digna de imitar de la teoría*” al ser un sistema (una estructura) que satisface los axiomas de la teoría científica, de la cual pasa a ser “*modelo*” tras un proceso de interpretación (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009, p.43).

A partir de la obra de Kuhn y el surgimiento de la *nueva filosofía de la ciencia*, se propone que el modelo científico es un constructo *ejemplar* que permite la búsqueda de nuevas soluciones a los problemas que se investigan. Es entonces cuando la concepción semántica cognitiva –es decir la teoría científica mediatizada por modelos para explicar las características generales de determinadas agrupaciones o “*familias*” de fenómenos–, surgida durante las décadas de los 70's y 80's y abanderada por el epistemólogo Ronald Giere se constituye como la base del modelo actual. Dicha concepción epistemológica es la que sustenta este trabajo de tesis.

3.1.1 Los modelos según Giere

La visión cognitiva de la ciencia, defendida por Giere (1999a, 1999b) se fundamenta epistemológicamente en el realismo perspectivo¹¹, en dicho planteamiento este autor considera que los modelos en las ciencias naturales son entidades abstractas, simbólicas e idealizadas útiles para explicar los diversos fenómenos estudiados por la ciencia. El mismo autor, argumenta que debido a su carácter semántico los modelos pueden emplearse tanto para la construcción del conocimiento científico como para el aprendizaje de las ciencias.

Para Giere (1999a, 1999b) los modelos son representaciones mentales que se conciben a partir de un “sistema real” que sí existe en el mundo, pero no son la realidad misma, ni representan la verdad absoluta –porque no hay verdades absolutas (Ernest, 1995)–, sino que “se ajustan” de manera relativa a determinados aspectos de la realidad, que es el objeto, tema o tópico de la representación. Ahora bien, “*La relación entre el modelo y el mundo real es compleja. Ya que el modelo es un objeto abstracto y no es, el mismo una constatación o declaración, la relación no puede ser una relación directa o de verdad, sino que la relación entre las declaraciones y el mundo es indirecta a través del modelo*” (Giere, 1999b, p.64). De acuerdo con la premisa anterior, Giere (1999a) argumenta que existe una semejanza entre los modelos y los mapas. Esta semejanza se debe a que ambos destacan características particulares del sistema que se pretende estudiar, tienen propiedades tanto realistas como

¹¹ Corriente filosófica planteada por Ronald Giere en donde sostiene que el realismo perspectivo es la idea de que cualquier forma de representación del mundo proporciona una sola perspectiva del mismo (Giere, 1999^a, p.9).

representativas del mundo real y satisfacen la necesidad de hablar sobre representaciones sin recurrir necesariamente al concepto de verdad. Aunque ningún mapa o modelo puede mostrarlo todo –porque no hay una representación que ofrezca una perspectiva idéntica, global o universal del mundo– pero sí puede proporcionar una aproximación más o menos fiel de la realidad que se desea estudiar.

Llegados a este punto, es importante aclarar que no debe confundirse una relación de semejanza con una relación de igualdad, ya que los mapas y los modelos de ninguna manera son iguales. Aunque ambos permiten realizar una representación de la realidad sin requerir una relación de verdad, los modelos son representaciones mucho más elaboradas y complejas, no estáticas; en donde intervienen entidades, propiedades de dichas entidades, relaciones entre las entidades y condiciones que permiten imaginar, deducir o visualizar cómo se lleva a cabo un determinado fenómeno.

Otras características de los modelos, señaladas por diversos autores (Duschl, 1997; Giere 1999b; Izquierdo et al., 1999; Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009; Schwarz, 2009; Merino e Izquierdo, 2011) consisten en que los modelos pueden tener diferente grado de abstracción y de ajuste con los hechos del mundo, además que es posible representarlos mediante diversos lenguajes a partir de las hipótesis teóricas –que aseveran la relación entre el modelo y cualquier cosa del mundo real–. Por lo tanto, los modelos pueden representarse físicamente de manera simple –destacando sólo lo esencial que sirva para explicar el fenómeno de interés y su relación con el mundo real– mediante enunciados, ecuaciones, diagramas, maquetas, dibujos, fórmulas, símbolos, oraciones, fotografías, principios, leyes, tablas, gráficas, analogías diseños generados por ordenador o modelos a escala.

Las relaciones entre las declaraciones o teorías científicas, los modelos y el mundo real, como lo plantea Giere (1999b) se ilustran en la figura 3.1.

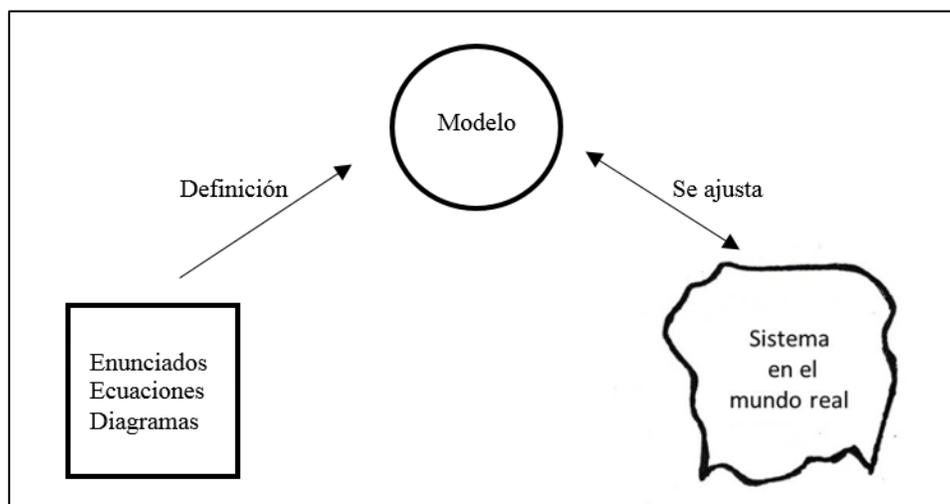


Fig. 3.1 Aproximación de las teorías científicas, basada en modelos. Fuente: Giere (1999b, p.65).

Como se observa en la figura 3.1 es necesario analizar cuidadosamente el sistema como se presenta en el mundo real y realizar las adecuaciones pertinentes para construir un modelo físico que represente un determinado fenómeno.

Ahora bien, la construcción de un modelo físico para caracterizar un modelo teórico abstracto proporciona las siguientes ventajas:

- Es posible interpretar las teorías científicas y formular predicciones.
- Se facilita la comprensión de los fenómenos del entorno.
- Permite diseñar experimentos que propicien tomar decisiones informadas sobre qué hacer en una determinada situación del mundo real.
- Mediante la elaboración de modelos es posible representar de manera indirecta la relación que existe entre las teorías y la realidad del mundo (Giere, 1999b; Duschl, 1997; Izquierdo, 2005).

De acuerdo con lo anterior, Giere (1999a, 1999b) sostiene que las ventajas proporcionadas por los modelos para comprender los hechos del mundo, permiten que la enseñanza de las ciencias sea de forma realista y pragmática, es decir “que conecte” con el mundo real para construir aprendizajes útiles no sólo en el salón de clases, sino para toda la vida.

Estas ventajas también justifican la propuesta de enseñanza de las ciencias a través de la construcción de modelos, con lo cual se pretende que los fenómenos de estudio sean comprendidos por todos los estudiantes (Izquierdo, 2004; Izquierdo et al., 2007; Izquierdo, 2011) y se alcancen aprendizajes significativos (Sanmartí, 2002). Para ello, Giere (1999a, 1999b) ha propuesto el Modelo Cognitivo de Ciencia (MCC), un modelo que permite diseñar y fundamentar la enseñanza de las ciencias, en el cual la teoría sólo es válida si tiene significado y es útil para interpretar los fenómenos del mundo real. Dicho modelo reúne de manera coherente los puntos de vista tanto de la ontología como de la epistemología, la psicología y la historia de las ciencias (Gutiérrez, 2001; Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009) “*que son el origen del pensamiento científico experimental, a partir del cual es posible, después, el razonamiento y la justificación teórica*” (Izquierdo et al., 1999, p.46).

El MCC ha inspirado la creación del modelo de ciencia escolar, que se desarrolla entre la frontera del pensamiento cotidiano y el pensamiento científico (Izquierdo et al., 1999) cuya finalidad es propiciar que el alumnado aprenda a pensar mediante modelos y teorías que se vinculan a los fenómenos del mundo gracias a la acción experimental, al lenguaje científico y al de las representaciones (Izquierdo, 2003; Izquierdo, et al., 2007; Merino e Izquierdo, 2011). El modelo de ciencia escolar se considera como una propuesta poderosa para la enseñanza de las ciencias porque caracteriza a la ciencia que se realiza en el aula como una actividad cognitiva, discursiva y experimental que posibilita la construcción del conocimiento científico gracias a la actividad científica escolar (Izquierdo et al., 1999; Izquierdo, 2003). Dicho modelo provee una visión unificadora entre la ciencia erudita y la ciencia escolar, debido a su concepción semántica de las teorías científicas. A través del modelo de ciencia escolar los estudiantes construyen explicaciones en relación a los

fenómenos de estudio, que serán simples en un principio, pero que se irán complejizando a medida que se relacionan con otros fenómenos similares (Solsona et al., 2000; Justí et al., 2006) para hacerse cada vez más robustos y coherentes (Gutiérrez, 2001).

Una vez planteado el enfoque epistemológico en el que se sustenta este trabajo de intervención e investigación se presenta el enfoque didáctico que forma parte del marco teórico.

3.2 Enfoque didáctico. La modelización

De acuerdo con Izquierdo (2003) la modelización se concibe como un proceso que tiene lugar cuando los estudiantes construyen modelos para '*dar sentido*' a los hechos que observan, cuando transforman un hecho del mundo en un hecho científico, lo cual les permite construir relaciones y explicaciones cada vez más complejas sobre los fenómenos del mundo.

La premisa anterior concuerda con el enfoque constructivista sobre el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias, en donde se asume que el aprendiz no recibe el conocimiento de manera pasiva como una máquina, sino que, al ser un sujeto cognoscente, participa activamente en la construcción de sus aprendizajes (Ernest, 1995).

Para Izquierdo (2003) los principales objetivos de la modelización son enseñar a crear modelos para interpretar las teorías y comprender mejor el mundo, tomar como punto de partida las representaciones que los estudiantes tienen sobre los diferentes fenómenos y desde ese punto mejorar tanto su razonamiento como sus aprendizajes y su autonomía. Para ello recomienda tomar en cuenta el plan de estudios y llevar a cabo los mecanismos de transposición didáctica –que adecúe la ciencia de los científicos a la ciencia de la escuela– con el fin de crear problemas en los que los estudiantes pueden razonar mediante modelos.

A través de la modelización también se pretende disminuir la práctica acostumbrada por aún la mayoría de los docentes conocida como '*transmisión de conocimientos*', fomentar un sentido crítico en el estudiantado para manejar situaciones cotidianas relacionadas con su entorno (Justí, 2006) y al mismo tiempo desarrollar en ellos formas de pensar para entender las diversas situaciones de manera semejante a como lo hacen los científicos. Así mismo se pretende desarrollar modelos tan simples y potentes como sea posible, con la finalidad de explicar y predecir diferentes fenómenos de una manera unificadora (Méheut y Psillos, 2004).

Algunos autores (Izquierdo, 2003; García y Sanmartí, 2006; Gómez, 2008; Schwartz, 2009; Sanmartí y Márquez, 2012) consideran que la modelización toma en cuenta las aportaciones de las teorías del aprendizaje, las cuales destacan el papel de las interacciones sociales, del lenguaje y de la regulación metacognitiva en la construcción del conocimiento. Así mismo argumentan que está fuertemente ligada al desarrollo del vocabulario porque mediante la experimentación y el lenguaje que los estudiantes utilizan para expresar o comunicar sus

ideas, se incorporan nuevas palabras pertenecientes al lenguaje científico; con lo cual se construye de forma gradual el aprendizaje. Por lo tanto, el proceso de modelizar garantiza la construcción del conocimiento y favorece el desarrollo de habilidades de pensamiento, lenguaje y acción (Guidonni, 1985) que posibilitan tanto la comprensión de los diversos fenómenos cotidianos¹² como la oportunidad de intervenir en ellos con sus propias ideas y acciones.

Por otra parte se considera que la modelización es mucho más potente que el cambio conceptual, porque el proceso de modelizar *“implica que los alumnos deben pensar teóricamente a través de modelos y deben ser capaces de aplicarlos a la interpretación de hechos”* (López-Mota et al., 2012, p.6) es decir que no se trata de generar un conflicto cognitivo para cambiar o sustituir un modelo por otro, sino de evolucionar y progresar en el aprendizaje al igual que en la construcción del conocimiento (García y Sanmartí, 2006; Salinas; 2009, 2013; Talanquer, 2013) para explicar de manera más amplia y completa los diferentes fenómenos estudiados por la ciencia.

Hasta aquí se han revisado algunos aspectos básicos sobre los modelos. En el siguiente apartado se abordan los conceptos: ciencia escolar, actividad científica escolar y modelos científicos escolares. También se profundiza en la modelización de los fenómenos químicos y se hace hincapié en las ventajas que ofrece la modelización en el estudio de la química escolar.

3.2.1 La ciencia escolar

La ciencia escolar es aquella que se desarrolla en la escuela, es diferente a la ciencia de los científicos, pero no deja de ser coherente con ella, puesto que ambas ciencias proponen la comprensión del mundo y la comunicación de las ideas teóricas de manera significativa (Sanmartí, 2002; Izquierdo, 2003; García y Sanmartí, 2006; Izquierdo et al., 2007; Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009; Lopez-Mota et al., 2012).

De acuerdo con Izquierdo (2003) desde la perspectiva de la nueva historia y filosofía de la ciencia (NHPS) y de la ciencia cognitiva, surge un nuevo modelo de ciencia que también podría ser apropiado para la ciencia de la escuela, siempre que se pueda establecer una conexión “gradual” entre los modelos teóricos de la ciencia de los científicos y las representaciones mentales de los estudiantes sobre los fenómenos naturales. Este modelo –el modelo de ciencia escolar– ha sido adaptado a un nuevo contexto cognitivo y, por lo tanto, la analogía del estudiante como “pequeño científico” ha de modificar su sentido.

La ciencia escolar posibilita que el alumnado visualice a la ciencia como una actividad humana y permite que los estudiantes desarrollen la capacidad de razonar e interpretar al

¹² En este trabajo nos interesan principalmente los fenómenos químicos.

mundo mediante modelos generados a partir de la actividad científica escolar. Sin embargo, es un reto lograr que los alumnos aprendan a pensar, hablar y actuar mediante modelos, así como acceder progresivamente al lenguaje científico (Izquierdo, 2003). Por ello (Izquierdo et al., 1999; Sanmartí, 2002 e Izquierdo, 2003) consideran que la propuesta del modelo de ciencia escolar tiene el objetivo de facilitar la comprensión de los fenómenos cotidianos y posibilitar la construcción de explicaciones sobre los diversos fenómenos del entorno, de tal manera que dichas explicaciones evolucionen de lo simple a lo complejo, de lo concreto a lo abstracto, de lo macroscópico a lo sub-microscópico y a lo simbólico; mediante la observación, la experimentación, el análisis y la relación con otros fenómenos similares. Esta consideración es de suma importancia al momento de seleccionar y secuenciar el estudio de los fenómenos que se han de enseñar durante la actividad científica escolar, con la finalidad de enriquecer los modelos teóricos escolares.

Izquierdo (2003) considera que la ciencia escolar se debe relacionar con la salud, la alimentación, la educación ambiental, la educación para la paz y con los propios valores de los estudiantes. Establecer metas factibles, que tengan que ver con los intereses de los estudiantes, de tal manera que puedan ajustarse a sus expectativas y creencias acerca de la escuela y sobre el "mundo real". De lo contrario, ¿cómo podemos presentar la ciencia a los estudiantes como un tema interesante y valioso cuyos contenidos generan una comprensión del mundo y una relación con el contexto?

Para lograr lo anterior, el docente de ciencias ha de planear con cuidado las actividades a realizar de acuerdo al plan de estudios correspondiente a su asignatura, para que la ciencia escolar pueda convertirse en algo inteligible en sí mismo y no sólo sea impuesta desde fuera. De esta forma los estudiantes le encuentran sentido a la actividad científica escolar, perciben que son responsables de la construcción de su propio conocimiento, y en este contexto el modelo cognitivo de ciencia se convierte en válido para la ciencia escolar.

3.2.2 Actividad científica escolar

Para Izquierdo et al. (1999, p.50) la actividad científica escolar es el resultado de la interacción entre el contenido a enseñar, el profesor y el alumnado, los cuales son los elementos que constituyen un sistema didáctico. Ver Figura 3.2.

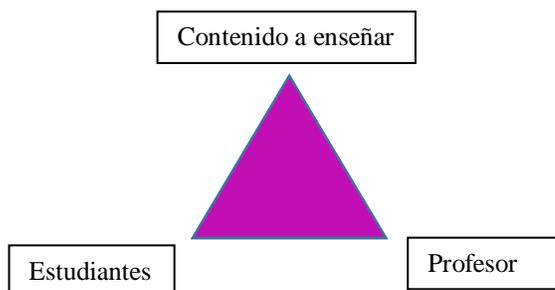


Fig. 3.2. Elementos de un sistema didáctico. Adaptado de Izquierdo et al. (1999, p.50).

El sistema didáctico de la figura 3.2, se sustenta sobre tres pilares: Los ‘hechos del mundo’ a conocer, –que deben transformarse en hechos científicos en el marco de los modelos teóricos–; los métodos –manipulaciones e instrumentos– y el lenguaje que incluye los signos en general, –que deberán servir para la comunicación–. Ver figura 3.3.

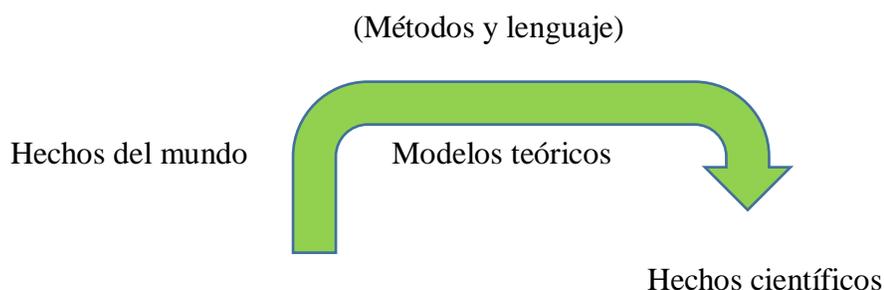


Fig. 3.3. Pilares del sistema didáctico. Adaptación de Izquierdo (1999, p.50).

Izquierdo et al. (1999, p.52) consideran que, “*en la actividad científica escolar, el alumnado y los docentes deberían crear una cultura propia, donde las diversas acciones que se realizan en el aula tengan sentido para todos, incluyendo, por supuesto, tomar notas y hacer evaluaciones, así como realizar actividades experimentales e indagación en campo, resolver problemas, modelizar, argumentar, comunicar y debatir resultados*”. Por lo tanto, la escuela debe ser un lugar donde “*se cree, se aplique, se evalúe y se difunda el conocimiento*”.

De acuerdo con Izquierdo et al. (2007, p.143) para que la modelización tenga éxito se requiere considerar el aula como “*un espacio donde también se genera una actividad científica*”, pero

con sus propias características dado que es una ciencia que se desarrolla en la escuela. Los autores argumentan que esta actividad se debe llevar a cabo con una nueva forma de mirar y hablar de los fenómenos químicos; es decir que “*debe haber un cambio sustancial en la forma de enseñar la química*”. El enfoque basado en los libros de texto también debe cambiar, lo mismo que la forma de interpretar el plan de estudios por parte del profesor (Chittleborough, 2014). Es conveniente enfocar la enseñanza de acuerdo a los intereses de los estudiantes, con la intención de satisfacer sus inquietudes y necesidades de conocimiento para comprender, interpretar y actuar en el mundo en el que se desarrollan. Izquierdo et al. (2007, p.143) sostienen que la enseñanza de las ciencias debería “*permitir al alumnado generar conocimiento relevante sobre el mundo natural y operar con él para intervenir activamente y para tomar decisiones justificadas y responsables. Ese conocimiento sería genuinamente científico, aunque no idéntico al de la ciencia de los científicos*”.

Izquierdo et al. (2007) sugieren considerar los siguientes aspectos para que la actividad científica escolar pueda llevarse a cabo:

- Identificar un problema que tenga relevancia social y que permita analizarlo desde un modelo científico importante¹³.
- Plantear metas y objetivos de aprendizaje.
- Emplear un sistema de valores.
- Utilizar representaciones cotidianas que le sean familiares a los alumnos.
- Favorecer la motivación.
- Proponer actividades variadas en función del estilo cognitivo de los estudiantes quienes han de representar sus ideas empleando todos los lenguajes posibles.
- Valorar la diversidad en las formas de pensar y de evolucionar que se dan en clase ya que no todos los alumnos aprenden lo mismo ni al mismo ritmo.
- Considerar la importancia del trabajo colaborativo y el contexto escolar.
- Propiciar la participación de todos los alumnos.
- Tomar en cuenta la distribución del tiempo para la realización de las diversas actividades.

3.2.3 Modelos científicos escolares

Izquierdo y Adúriz (2003, p. 32), argumentan que la introducción de los modelos científicos en la enseñanza de las ciencias naturales da origen a los modelos científicos escolares, los cuales tienen un papel fundamental en la enseñanza de los contenidos científicos porque permiten “*describir, explicar, entender, predecir, intervenir, transformar o comunicar*” los fenómenos que se estudian. La investigación en Didáctica de las Ciencias ubica a los modelos

¹³ En este caso el modelo de cambio químico.

como un elemento crucial del conocimiento científico escolar porque posibilitan conjuntar el aspecto experimental y teórico de la enseñanza de las ciencias naturales, lo que conduce al alumnado a *“aprender a hablar y escribir ciencia y a argumentar a favor de los modelos usando evidencias pertinentes y fundamentadas”* (Adúriz-Bravo y Ariza, 2012, p.1143).

Por ello es necesario reconocer la importancia de los modelos en la enseñanza de los contenidos científicos escolares, *“ubicar aquellos aspectos de los modelos de la ciencia relevantes para trabajar en el aula y contribuir al mejoramiento de la educación científica”* de todos los niveles educativos (Adúriz-Bravo y Ariza, 2012, p.1134).

Con relación al empleo de los modelos científicos escolares en la enseñanza de la química, Caamaño (2007), considera que el uso de los modelos en el estudio de los fenómenos químicos conduce al estudiantado a predecir el comportamiento de los sistemas químicos, así como la comprensión de una de las finalidades prácticas de la química: la satisfacción de necesidades como la salud, el vestido, la alimentación y la obtención de productos básicos a partir de materias primas. Por ello, los procesos de modelización deberían constituir el eje fundamental de la construcción de los conocimientos en los cursos de química, ya que la contextualización de los contenidos es una necesidad ineludible para dotar de mayor relevancia a los currículos y justificar la importancia de los aprendizajes que se pretenden. Por lo tanto, la elaboración de modelos químicos es una de las actividades más importantes que se realizan en las clases de química (Justi y Gilbert, 2002; Gutiérrez, 2004).

3.2.4 Modelos científicos escolares en el estudio de la química

Con la modelización de los fenómenos químicos se espera que los estudiantes del siglo XXI desarrollen habilidades que les permitan tomar decisiones sobre cómo mejorar sus condiciones de vida relacionadas con el medio ambiente (química verde), la alimentación, la salud, el uso de la tecnología o el análisis de situaciones que tengan que ver con conocimientos científicos o habilidades técnicas (Justi, 2006; Chittleborough, 2014). De esta manera, al emplear la modelización para el aprendizaje de la química escolar: Se relacionan la teoría y la práctica de manera coherente (Izquierdo, 2004) y se movilizan saberes que permiten interpretar los hechos e imaginar los procesos microscópicos subyacentes al mundo material macroscópico (Galagovsky, 2013; Chittleborough, 2014).

Al emplear la modelización de los fenómenos químicos como recurso didáctico, el profesorado de secundaria abarca los aspectos mencionados anteriormente y también posibilita que los estudiantes puedan experimentar, representar y comunicar aspectos sobre entidades teóricas no visibles y abstractas (Chamizo y Márquez, 2006) que constituyen el lenguaje simbólico de la química. De esta forma el estudiante será capaz de construir, expresar y utilizar un modelo, que le permitirá dar cuenta de los fenómenos cotidianos y desarrollar una forma de pensar semejante a la de los científicos (Justi, 2006).

Por otra parte, un aspecto que considero importante tomar en cuenta durante la modelización, es lo recomendado por Justi (2006, p.174): *“no hacer énfasis sólo en el aspecto racional o en la estructura lógica de los contenidos de la ciencia, sino también en los aspectos afectivos y sociocognitivos del aprendizaje”*. Comparto el punto de vista con la autora porque a través de la experiencia, me he percatado que el aspecto afectivo, es decir tanto la empatía con el profesorado como el estado emocional de los estudiantes determinan su disposición y actitud hacia el aprendizaje.

A continuación, se presentan las ventajas que ofrece la modelización de los fenómenos químicos para el aprendizaje de la química:

- a) Posibilita visualizar los componentes del modelo que pueden expresarse en forma oral o escrita, mediante representaciones con maquetas, dibujos, gráficas, entre otros (Izquierdo, 2003; Schwartz, 2009).
- b) Desarrolla en el estudiantado habilidades cognitivas como: analizar, comparar, deducir y formular hipótesis acerca de los diferentes fenómenos químicos (Izquierdo, 2003).
- c) Desarrolla la capacidad del alumnado de representar el mundo, y posibilita la construcción del conocimiento en relación con un determinado fenómeno (Izquierdo et al., 1999).
- d) Permite potenciar habilidades cognitivo-lingüísticas para describir, argumentar, demostrar e informar acerca de la química (Izquierdo, 2003).
- e) Posibilita relacionar los conocimientos químicos que propone el currículo, de manera que estén contenidos en un mínimo de ideas, lo más simples y fundamentales que sea posible (Merino e Izquierdo, 2011).
- f) Facilita la construcción del conocimiento científico químico: conceptos, modelos, teorías y métodos (Izquierdo, 2003).
- g) Es posible dar cuenta de lo abstracto y de lo que no lo es (Chamizo y Márquez, 2006).
- h) Contribuye a desarrollar las ideas del alumnado sobre las partículas, para emplearlas en la explicación de los cambios químicos (Izquierdo et al., 2007).
- i) Se logra mayor capacidad de retención a largo plazo, motivación intrínseca, nivel superior de razonamiento y pensamiento crítico con lo cual los alumnos se involucran agradablemente en la química (Chamizo y Márquez, 2006).
- j) Proporciona criterios para la planeación, porque permite seleccionar y secuenciar los contenidos en relación con las finalidades del currículo (Izquierdo, 2003).

Sin embargo, a pesar de estas ventajas, la construcción y apropiación de los modelos químicos por parte de los alumnos no es una tarea fácil (Gutiérrez, 2004). Las dificultades

relacionadas con el aprendizaje de la química se pueden clasificar en dificultades intrínsecas a la disciplina, dificultades relativas al pensamiento y/o forma de razonamiento de los estudiantes y dificultades atribuibles al proceso de instrucción.

Con el objeto de aminorar las dificultades inherentes a la modelización, Izquierdo et al., 2007, p.152) argumentan que *“la modelización requiere una interacción dialógica entre las ideas del alumnado y las del profesor en la cual se vinculan las acciones, el pensamiento y el lenguaje, generando así un ambiente adecuado para la curiosidad intelectual y para la emergencia de explicaciones significativas”*. Por lo tanto para que el proceso de modelización sea fructífero, los docentes han de diseñar cuidadosamente las estrategias de enseñanza, pensar en cómo y para qué realizar determinadas actividades; ubicar al alumno en el centro del aprendizaje y desarrollar sus competencias para que aprendan a pensar, hablar y comunicar la química (Izquierdo, 2004). Estos aspectos se tratan con mayor profundidad en el capítulo 5 en el apartado de estrategias didácticas.

3.2.4.1 Los tres niveles de representación de la química en los modelos científicos escolares

Con base en los aspectos que se han revisado anteriormente, es importante reconocer que para que el aprendizaje de la química sea efectivo, se debe partir de las ideas previas de los estudiantes y avanzar gradualmente de acuerdo a los tres niveles de representación química de los fenómenos, –nivel macroscópico, simbólico y sub-microscópico– como lo argumenta Johnstone (1982, 1991 y 1993).

Al llevar a cabo la modelización de los fenómenos químicos, es importante que el profesor esté convencido que su enseñanza debe iniciar en el nivel macroscópico, –que es el mundo de lo observable, tangible, descriptivo y funcional–, para que los fenómenos químicos se perciban primero a través de los sentidos (Johnstone, 1982, 1991 y 1993) y avanzar paulatinamente hacia lo simbólico y lo sub-microscópico (ver figura 3.4).

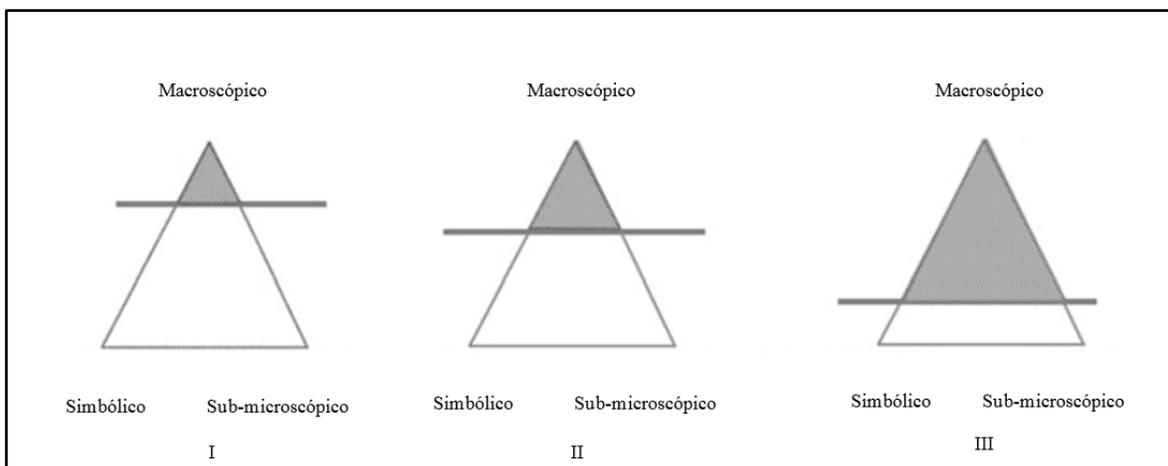


Fig. 3.4. Avance gradual en el aprendizaje de la química, como lo indica Johnstone (1982, 1991 y 1993). De lo macroscópico hacia lo simbólico y lo sub-microscópico. Fuente: Chittleborough (2014, p.35).

De acuerdo con Galagovsky et al. (2003), el nivel macroscópico corresponde a las representaciones mentales adquiridas a partir de la experiencia sensorial directa; el nivel sub-microscópico hace referencia a las representaciones abstractas, modelos que tiene en su mente un experto en química asociados a esquemas de partículas y el nivel simbólico involucra formas de expresar conceptos químicos mediante fórmulas, ecuaciones químicas, expresiones matemáticas y gráficos. Es recomendable que el profesorado no abarque los tres niveles de representación de la química en forma simultánea, porque puede causar confusión en los estudiantes y cognitivamente es muy difícil para ellos manejarlos al mismo tiempo (Johnstone, 1982, 1991 y 1993; Chittleborough, 2014).

Para posibilitar el entendimiento gradual de los tres niveles de representación de la química, el profesorado ha de considerar la modelización de aquellos fenómenos representativos, cotidianos, con relevancia social, familiares y significativos para los alumnos (Izquierdo, 2004; Hatzinikita et al., 2005; Izquierdo, et al., 2007; Prieto y Watson, 2007; Merino e Izquierdo, 2011) los cuales han de conducir de forma obligada a “plantearse preguntas como: ¿Qué ocurre?, ¿Por qué ocurre?, ¿De qué forma ocurre?, ¿Hasta cuándo ocurre?” (Roca, 2005; Izquierdo et al., 2007, p.150; Sanmartí y Márquez, 2012). Preguntas que a la vez generen respuestas que permitan al alumnado representar lo que ocurre en la realidad y “dar sentido a las entidades abstractas de la química” (Merino e Izquierdo, 2011, p.215). De esta forma se posibilita el aprendizaje porque los estudiantes han llegado a conectar tanto las explicaciones del profesor como las de los libros de texto con lo que observan y experimentan, lo que genera además de un criterio químico (Merino e Izquierdo, 2011) una verdadera conexión de la química con el mundo real (Gabel, 1998). Conviene que dichos fenómenos estén al alcance de los estudiantes y que se correspondan con las formas de trabajar, pensar, hablar y actuar desde la química; para que estos “hechos paradigmáticos” se conviertan en ejemplos de cambio químico.

Izquierdo (2003) argumenta que en clase de ciencias es importante tomar en cuenta las ideas iniciales que los estudiantes tienen sobre los fenómenos naturales, ya que nos proporcionan los primeros modelos de anclaje que pueden ser considerados en el aula. Estas ideas generalmente están basadas en las observaciones macroscópicas que los estudiantes hacen sobre algún fenómeno en particular, pero es necesario relacionar el nuevo conocimiento científico –formulado a través de otro tipo de modelos– con el objetivo de enseñar a pensar y actuar sobre dichos fenómenos naturales, así como para avanzar en el nivel de comprensión sub-microscópico y simbólico de la química (Johnstone, 1988, 1991 y 1993). Para ello es necesario ofrecer en el aula un tipo de teorías científicas escolares que puedan conectar las ideas de los niños con los nuevos hechos experimentales que se les presentan (Duschl, 1997). Izquierdo (2003) también afirma que las teorías científicas escolares deben ser diferentes a las teorías de los científicos en su contenido y en su lenguaje, es decir deben ser menos complicadas, pero han de conservar un poder similar de explicación para facilitar la correlación en el futuro, con los aspectos del fenómeno expresados en un lenguaje más abstracto. Así mismo, las teorías científicas escolares también han de conducir al alumnado a la construcción de modelos más robustos y complejos para explicar los fenómenos naturales del entorno (Gutiérrez, 2004).

3.3 El Modelo Científico Escolar de Arribo

Al seguir los planteamientos de la visión semanticista postulados por Giere (1999a, 1999b), los investigadores López-Mota y Rodríguez-Pineda (2013) y López-Mota y Moreno-Arcuri, (2014) consideran que diseñar y poner en práctica estrategias didácticas¹⁴ como la modelización de los diferentes fenómenos naturales, posibilita que los estudiantes se alejen de la memorización y de la visión de ciencia basada en conceptos; lo cual permite trascender hacia una visión de ciencia más próxima a la de los científicos. Para ello es necesario realizar la transposición didáctica adecuada, reestructurar las teorías científicas en torno a modelos básicos y diseñar actividades escolares apropiadas. Estas actividades han de incluir la experiencia directa del alumnado con fenómenos cotidianos para propiciar el desarrollo de habilidades que les conduzca hacia la construcción de modelos explicativos mediados por las teorías científicas escolares.

Con la finalidad de aportar estrategias que contribuyan a la formación científica de los estudiantes, dichos autores han construido el concepto de '*Modelo Científico Escolar de Arribo*' (MCEA), el cual es una propuesta de carácter teórico-metodológica –fundamentada como ya he mencionado, en la visión semántica de modelo propuesta por Giere (1999a, 1999b)– y postulada como hipótesis directriz que proporciona los criterios orientadores para diseñar y validar secuencias didácticas basadas en la modelización.

¹⁴ En este trabajo, el término secuencia didáctica y estrategia didáctica se consideran equivalentes.

3.3.1 Naturaleza y función del Modelo Científico Escolar de Arribo

De acuerdo con López-Mota y Rodríguez-Pineda (2013, p.2010), el MCEA es un constructo que funciona tanto para el diseño de secuencias didácticas que permitan dar cuenta de los fenómenos estudiados por la ciencia, como para ser utilizado como una herramienta de evaluación de los aprendizajes alcanzados por los estudiantes durante la actividad científica escolar. La forma en que los aprendizajes del estudiantado pueden ser evaluados es a través del '*Modelo Alcanzado*'¹⁵ concepto creado también por López-Mota y Rodríguez-Pineda (2013).

El MCEA es producto de la '*tensión*'¹⁶ o comparación entre tres modelos que se han de construir previamente, –Modelo Explicativo Inicial (MEI), Modelo Curricular (MCu) y Modelo Científico (MCi) respectivamente¹⁷–, así como de la debida transposición didáctica creada para el tópico de estudio en particular. Es decir que este modelo surge al comparar y analizar la información sobre el fenómeno de interés proveniente de tres diferentes fuentes:

- a) Las ideas previas del alumnado.
- b) Los contenidos del programa de estudio.
- c) La concepción científica del contenido a enseñar.

Para comprobar la utilidad del MCEA, López-Mota y Moreno-Arcuri (2014) han diseñado una secuencia didáctica para el fenómeno de la fermentación con fundamento en este modelo y de acuerdo a los resultados de su trabajo, han concluido que dicho modelo "*permite dar cuenta de los modelos que los alumnos son capaces de lograr en condiciones de clase y posibilita evaluar los modelos científicos escolares que se han planteado en el currículo y que derivan en lineamientos docentes para los profesores y objetivos de logro para los estudiantes*" (López-Mota y Moreno-Arcuri, 2014, p.14). Así mismo, estos autores han reconceptualizado las dimensiones epistémica y pedagógica planteadas por Méheut y Psillos (2004) al mismo tiempo que han renombrado los ámbitos del conocimiento científico y mundo material dentro de un contexto escolar para introducir la perspectiva de modelos en una visión didáctica y para proporcionar un fundamento teórico sobre el empleo del MCEA como dispositivo viable en el diseño y validación de secuencias didácticas.

De acuerdo con Miguel et al (2014), la propuesta del MCEA en relación al avance en el logro de los aprendizajes, es similar a la del modelo que García y Sanmartí (2006) han reportado como evolución en el aprendizaje; cuando los estudiantes avanzan de un modelo simple y concreto a un modelo complejo y abstracto. Así mismo el planteamiento didáctico del MCEA

¹⁵ En esta Tesis, se le ha nombrado Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL).

¹⁶ En este caso '*tensión*' se refiere a comparar las entidades, relaciones y condiciones de los diferentes modelos para postular el MCEA.

¹⁷ Los modelos que al tensionarse dan origen al MCEA se explican y construyen en el capítulo 4 en el apartado: construcción y contrastación de los modelos teóricos.

es compatible con el modelo que tanto Salinas et al. (2013) como Talanquer (2013) han presentado bajo la forma de modelo *Ancla Inicial* y *Ancla Final* para planear Progresiones de Aprendizaje (ver figura 6.17).

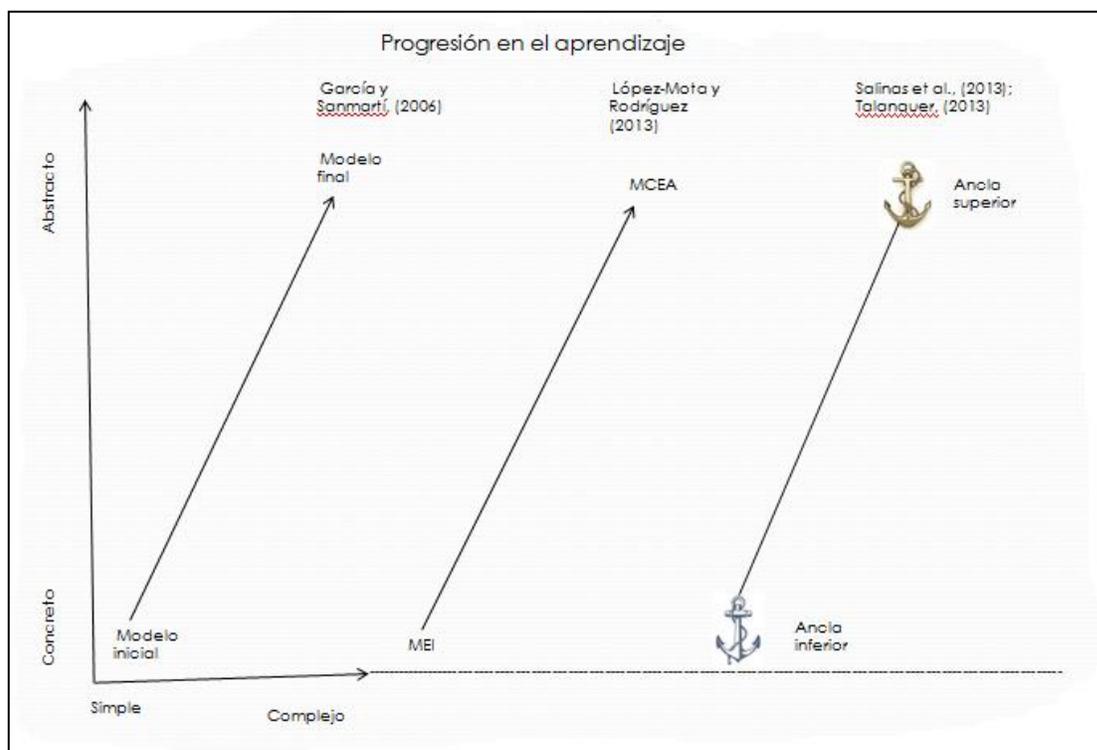


Fig. 6.17. Similitud del MCEA con el modelo Complejo-Abstracto propuesto por García y Sanmartí (2006) y con el modelo de Ancla Inferior-Superior propuesto por Salinas (2013) y Talanquer (2013). (Fuente: Miguel et al, 2014).

La propuesta que aquí se presenta y que se considera diferente e innovadora, pretende acercar el mundo de las teorías científicas al mundo de la escuela, mediante la planeación y diseño de una secuencia didáctica que establezca una progresión gradual en los aprendizajes del alumnado y por lo tanto favorezca la construcción de modelos explicativos para dar cuenta del cambio químico.

La intención es partir como lo mencioné anteriormente, desde el nivel macroscópico e ir avanzando hacia los siguientes niveles de representación de la química: submicroscópico y simbólico (Johnstone, 1988, 1991 y 1993). Desarrollar en los estudiantes una visión de interacción entre los materiales que constituyen los reactivos –más que de transmutación, desaparición, descomposición o desplazamiento (Andersson, 1990) – en donde se forman determinados productos y se cumple la ley de las proporciones constantes (Sanmartí, 2005).

En la siguiente cita, Andersson (1990) comenta: *“hay que hacer énfasis en que es relativamente raro que los libros de texto simbolicen las reacciones químicas con sistemas de partículas, lo cual traería una imagen más certera de lo que sucede y un mejor entrenamiento en el razonamiento químico, para que el alumno comprenda que la materia*

está compuesta de partículas, las cuales están en constante movimiento y pueden reaccionar con otras rompiendo o formando enlaces” (p.73). Por lo tanto, al construir el MCEA se pretende modelizar el fenómeno, es decir, aplicarle las ideas químicas –las leyes del cambio químico– y representarlo –en la medida de lo posible– mediante la teoría atómica que permitirá introducir el lenguaje de símbolos y fórmulas, imprescindible para explicar lo que ocurre cuando se lleva a cabo un cambio químico. Con ello, “*un cambio ‘natural’ se transforma en un cambio químico, que será un ejemplo para identificar otros similares”* (Merino e Izquierdo-Aymerich, 2011).

3.4. Enfoque disciplinar. El cambio químico, principal objeto de estudio de la química

La Química es una asignatura teórico-práctica básica y fundamental en el currículo de Ciencias. “*Se ocupa del estudio de las propiedades y estructura de las sustancias químicas y de las reacciones químicas entre ellas. Su objetivo teórico principal es modelizar la estructura de las sustancias y de los cambios químicos con la finalidad de predecir el comportamiento de los sistemas químicos”* (Caamaño, 2007, p.22). La química también estudia las reacciones que tienen lugar en los seres vivos, los procesos químicos geológicos, los cambios químicos que ocurren en la atmósfera, en la corteza terrestre, en la biosfera e incluso en el universo. Es entonces una ciencia fundamental que se relaciona y sirve de base para muchas otras ciencias como la biología, física, medicina, astronomía, ciencias de la Tierra y del ambiente entre otras. Además, la química tiene gran influencia en nuestra calidad de vida, tanto por los nuevos materiales, sustancias y productos que nos proporciona como por los efectos que la fabricación o síntesis de dichos productos provoca en el medio ambiente (Caamaño, 2007, p.23).

Como ya se mencionó anteriormente, el estudio de la química se centra fundamentalmente en el cambio químico, a este respecto de Vos y Verdonk (1985a) consideran que el tema de reacción química es medular en la enseñanza de la química porque permite que los estudiantes comprendan la constitución de la materia, sus transformaciones y la energía involucrada en dichas transformaciones.

Kind (2004) considera que no resulta fácil lograr la comprensión de los cambios químicos y que existen evidencias suficientes para sugerir que las dificultades pueden surgir porque los profesores no son conscientes de los significados y problemas que los principiantes tienen con los términos propios de la química, lo que empobrece el aprendizaje de los aspectos básicos de esta ciencia, por lo que sugiere buscar alternativas para mejorar la comprensión de los cambios químicos.

Por su parte Izquierdo et al. (2007) sostienen que la reacción química es un componente fundamental y estructurante del currículo de química el cual resulta ser un ‘modelo irreducible’ de cambio químico porque orienta y transforma un ‘hecho del mundo’ en un ‘hecho científico’. Estos autores también consideran que comprender el cambio químico no

resulta fácil para el alumnado, ya que no es posible ver a nivel sub-microscópico las entidades que participan en dicho cambio. Por ello es necesario modelizar los fenómenos y transformarlos en ejemplos o modelos de cambio químico, que compartan afirmaciones válidas para todos los cambios químicos.

En el Plan de Estudios 2011 para la asignatura de Ciencias III (con énfasis en química), se contempla la reacción química como la culminación de los aprendizajes de dicha asignatura. Sin embargo, algunos autores (Gillespie, 1997; Garritz, 1998; Reyes, 2006) consideran que el cambio químico es el corazón de la química y que su estudio debe iniciarse en los cursos introductorios de secundaria. Caamaño (1998, 2003) sostiene que la comprensión de la reacción química es un aspecto esencial de la estructura conceptual de la química y que desde la secundaria se debe poner de manifiesto la relación que existe entre las propiedades de los materiales y su estructura, es decir, entre sus propiedades macroscópicas y las propiedades de las partículas que los constituyen –propiedades sub-microscópicas– con lo cual se favorece la comprensión de las ideas centrales de la química (Reyes, 2006). Para Reyes (2006, p.15) *“el concepto de reacción química tiene un primerísimo lugar en la enseñanza de la química desde el nivel de la secundaria hasta el universitario”* por lo que es imprescindible su estudio y comprensión.

En los párrafos anteriores he mencionado que el principal objeto de estudio de la química es el cambio químico, cuya intención del estudio de esta ciencia en la escuela secundaria es la formación científica del alumnado para tomar decisiones acertadas en su vida cotidiana. Sin embargo, no deben olvidarse las dificultades a las cuales se enfrentan los estudiantes para lograr comprender esta ciencia. Por lo tanto, es imprescindible canalizar esfuerzos para diseñar estrategias de enseñanza que faciliten la comprensión de los fenómenos que son objeto de estudio de la química.

En las siguientes líneas hablaré de la importancia de las reacciones químicas en diversos aspectos de la vida cotidiana y porqué es necesario el estudio de las mismas.

3.4.1 Importancia de las reacciones químicas

El ser humano ha conseguido grandes avances científicos y tecnológicos a partir del conocimiento y dominio de las reacciones químicas. Gracias al control que se ha podido tener de ellas, se han logrado múltiples beneficios en diversos aspectos de la vida cotidiana tales como: mejorar la calidad y cantidad de alimentos, la obtención de nuevos materiales, –algunos de ellos resistentes a altas temperaturas¹⁸ o muy útiles en la industria de la electrónica–, la síntesis de medicamentos, –desde los analgésicos como la aspirina, (ácido acetilsalicílico), hasta los necesarios para el tratamiento del SIDA o el cáncer– y la

¹⁸ Materiales compuestos por carburo de tantalio y carburo de hafnio los cuales son cerámicas refractarias que pueden soportar temperaturas cercanas a los cuatro mil grados Celsius. Noticia en El Universal, 22 de diciembre de 2016. Consultado el 9 de octubre de 2018.

producción de materias primas para la industria de la limpieza o la industria cosmética por mencionar algunos ejemplos¹⁹.

La combustión es una de esas reacciones químicas que ha proporcionado enormes beneficios a la humanidad. Su importancia radica en la cantidad de energía que se puede obtener durante el proceso. Una vez que el hombre comprendió este fenómeno y fue capaz de controlar las condiciones en las cuales se lleva a cabo, lo ha utilizado para su beneficio en múltiples aspectos de la vida cotidiana. Por ejemplo, la combustión del carbón se utilizó en la máquina de vapor inventada por Watt, que se aplicó primero a la locomotora y posteriormente tanto a la producción agrícola como industrial, lo que originó mayor eficiencia en todos los ámbitos productivos y generó la Revolución Industrial²⁰. En 1886 se inventó el motor de combustión interna que puso en movimiento los primeros automóviles. De esta forma, la humanidad ha continuado en una gran carrera científica y tecnológica que le ha llevado incluso a emplear mejores combustibles y a crear mecanismos más sofisticados, como los motores de propulsión de las naves espaciales que le permitirán sin duda conocer otros mundos.

3.4.2 Discusión conceptual sobre el término reacción química

Para Gillespie (1997, p.863) las reacciones químicas son la mayor preocupación de la química y explica que *“las reacciones ocurren porque las moléculas se están moviendo y cuando se golpean con violencia suficiente unas contra otras, los enlaces se rompen y los átomos se intercambian para formar nuevas moléculas; o una molécula que está vibrando con violencia suficiente puede romperse en moléculas más pequeñas”*.

Raviolo, Garritz y Sosa (2011, p.247) sostienen que en los libros de texto se encuentran definiciones clásicas sobre la reacción química como las siguientes:

“Es un proceso en el cual una sustancia (o sustancias) cambia para formar una o más sustancias nuevas. Chang (1999)”. Los autores comentan que no consideran del todo apropiada esta definición, ya que pone de manifiesto que el concepto reacción química depende del concepto de sustancia. Así mismo mencionan que una concepción alternativa frecuente de cambio químico es considerarlo como una modificación, en la cual la sustancia varía en su apariencia o en sus propiedades, pero mantiene su identidad (Andersson, 1990). Los autores consideran que esta definición está incompleta ya que hace hincapié en la modificación de las propiedades de las sustancias y promueve la afirmación errónea de que *“toda transformación en la que cambian las propiedades específicas de las sustancias es un cambio químico”*. En este caso es posible fomentar una confusión en los estudiantes los cuales pueden interpretar que algunas transformaciones físicas, como los cambios de estado o las disoluciones, son reacciones químicas ya que se producen cambios en las propiedades

¹⁹ Sin mencionar aquellas reacciones, materiales o sustancias empleadas con fines bélicos; por ejemplo, la bomba atómica (Asimov, 2003, p.135).

²⁰ Consultado en <https://sobrehistoria.com>

específicas (por ej., la variación de la densidad del agua líquida al pasar al estado sólido o la densidad del agua cuando se disuelve una sal en ella).

Raviolo, Garritz y Sosa (2011) también sostienen que muchos estudiantes tienen la idea de que una reacción química implica “mezclar sustancias”, por lo que conciben al cambio químico como el proceso en que dos o más sustancias reaccionan para formar nuevas sustancias y no admiten la posibilidad de que se pueda partir de una sola sustancia, por ejemplo: una descomposición química (Casado y Raviolo, 2005).

Después de analizar diversas definiciones sobre el cambio químico, (Raviolo, Garritz y Sosa, 2011, p.248) sugieren la siguiente definición para reacción química en términos macroscópicos: “Una reacción química es un proceso en el cual una sustancia o varias sustancias se forman a partir de otra u otras” De igual forma, también proponen una definición para dicho concepto en términos nanoscópicos: “En una reacción química hay una redistribución de los átomos o iones, formándose otras estructuras (moléculas, o redes) diferentes” (Raviolo, Garritz y Sosa, 2011, p.249).

3.4.3 La combustión, ejemplo de cambio químico

De acuerdo con Izquierdo et al. (2007) los fenómenos estudiados por la química pueden ser espectaculares y motivadores, pero no siempre son fáciles de comprender por el alumnado. Esto es debido a que como ya se ha mencionado con anterioridad, la química es una ciencia concreta y abstracta, en la cual se requiere realizar representaciones a nivel sub-microscópico y que los fenómenos de estudio sean fáciles de caracterizar –ya sea en el aula o en el laboratorio escolar–. Por ello, para modelizar los fenómenos químicos es necesario emplear ejemplos representativos, hechos paradigmáticos, cercanos, familiares y significativos para los estudiantes de tal forma que permitan lograr una mejor representación y comprensión de los mismos (Izquierdo, 2004; Hatzinikita et al., 2005; Izquierdo, et al., 2007; Prieto y Watson, 2007 y Merino e Izquierdo, 2011). Es importante tomar en cuenta esta consideración, ya que de acuerdo con Hatzinikita et al. (2005), los ejemplos no familiares dificultan la construcción de los aprendizajes de los estudiantes.

Modelizar la combustión de la madera, por ejemplo, puede conducir a los estudiantes a formular explicaciones cercanas a las de los científicos, “para que la representación del mundo de los alumnos evolucione hacia una que sea más próxima a la científica” (Izquierdo et al., 2007, p.152) así como a desarrollar habilidades cognitivas de pensamiento lenguaje y acción (Guidoni, 1985) que permitan generar un Modelo de Cambio Químico.

Lo anteriormente mencionado justifica el empleo del fenómeno de la combustión como ejemplo de cambio químico, ya que es un fenómeno cotidiano, cercano y familiar para los estudiantes, el cual permite abordar el tema de las reacciones químicas e ilustrar diferentes aspectos de las mismas (De Jong et al. 1999 y Prieto y Watson, 2007). Posibilita además avanzar gradualmente del nivel macroscópico hacia el nivel simbólico y sub-microscópico,

que son como ya se ha mencionado anteriormente, los tres niveles de representación de la química (Johnston, 1982, 1991 y 1993; Galagovsky, 2013; Chittleborough, 2014).

Merino e Izquierdo (2011) argumentan que el uso de narraciones provenientes de la historia de la ciencia en la modelización de fenómenos químicos resulta conveniente porque permiten conocer el contexto en el que se desarrolló un determinado invento o descubrimiento, así como analizar de qué manera determinada actividad modificó la historia de la humanidad. A continuación, presento un apartado sobre la historia de la combustión, uno de los primeros fenómenos químicos estudiados por el hombre.

3.4.4 Historia de la combustión

Asimov (2003) argumenta que el fenómeno de la combustión siempre ha sido importante para el hombre. Se estima que fue el *Homo erectus* quien logró domesticar y conservar el fuego, aprovechando alguna rama encendida por un rayo o después de algún incendio. El calor generado por el fuego resultaba muy valioso, ya que ayudaba a protegerse del frío, ahuyentaba a los depredadores, exterminaba los parásitos y bacterias reduciendo el riesgo de enfermedades. El fuego también se utilizaba en la caza y en la preparación de alimentos, sobre todo cocción de la carne, lo cual mejoró el sabor de la misma e incrementó el consumo de proteínas de origen animal. Esta situación generó un mayor desarrollo cerebral con relación a otros homínidos y por lo tanto de la inteligencia. Tras este hallazgo el hombre ideó métodos para que la madera –u otro material combustible– se combinara con el aire a una velocidad suficiente para producir luz, calor o trabajo en las cantidades convenientes, para así darle la utilidad deseada.

De esta forma y sin saberlo el ser humano inició una gran carrera que le permitió obtener beneficios de los fenómenos químicos. Al principio todos ligados al fuego y después de una gran diversidad de ellos.

En la época de los griegos, el fuego y los fenómenos relacionados con él fueron siempre objeto de estudio. Aristóteles (384 a.C. - 322 a.C.) consideró al fuego como uno de los cuatro elementos que formaban parte de toda la materia que existía en el universo. Así, la propiedad de calor o frío en los cuerpos dependía de la cantidad de este elemento presente en los mismos. Los otros tres elementos considerados por Aristóteles como parte constituyente de la materia eran el agua, la tierra y el aire. La combinación de los 4 elementos le conferían a los materiales sus propiedades características de calor, frío, humedad y sequedad (Furió y Domínguez 2007; López-Valentín, 2008) (ver Figura 3.5).

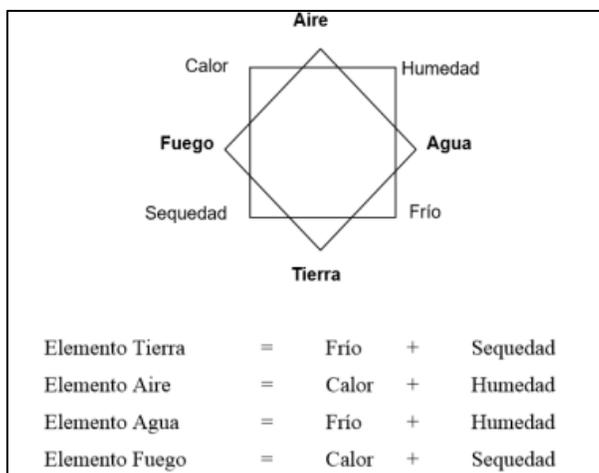


Fig. 3.5. Los cuatro elementos de la materia terrestre según Aristóteles. Tomado de López-Valentín (2008, p.33).

A partir de 1650 el interés por la combustión radicaba en encontrar nuevas aplicaciones a este fenómeno. Sin embargo, los alquimistas de la época seguían manteniendo las antiguas concepciones griegas y consideraban que todo lo que podía arder lo hacía porque tenía dentro de sí al elemento fuego.

En 1667 el alquimista y físico alemán Johann Becher (1635-1682) propuso una versión particular de la teoría de los cuatro elementos postulada por Aristóteles. De acuerdo con la teoría de Becher, todos los cuerpos – animales, vegetales y minerales – estaban formados por mezclas de tierra y agua, mientras que el fuego y el aire eran considerados como simples agentes de las transformaciones. Becher sostenía que los cuerpos minerales estaban compuestos por tres tipos diferentes de tierras, las cuales les confinaban propiedades como: el aspecto vítreo, el carácter combustible, la fluidez y la volatilidad. La tierra que denominó *terra pinguis* se consideraba portadora del principio de la inflamabilidad. Su nombre podría traducirse como *tierra grasa* o *tierra oleaginosa*, que en la alquimia se conoce con el nombre de *azufre*²¹, *azufre flogisto* o simplemente *flogisto*, palabra que en griego significa inflamable.

En 1702, el médico y químico alemán Georg Ernest Stahl (1660-1734) inspirado en los escritos de Becher formuló la teoría del flogisto para explicar el fenómeno de la combustión. Stahl consideraba al igual que Becher, que el flogisto – materia de fuego o principio inflamable – era descendiente directo del *azufre* de los alquimistas. Ésta era una sustancia imponderable y misteriosa que se encontraba en el interior de los cuerpos combustibles, la cual les permitía arder. Así, cuanto más flogisto tuviese un cuerpo, mejor combustible era. Los procesos de combustión suponían que cuando los materiales se queman liberan el flogisto hacia el aire, lo que quedaba tras la combustión no tenía flogisto y por lo tanto no podía seguir ardiendo. Stahl también sostenía que los metales estaban formados por una cal más flogisto,

²¹ No se refiere al azufre que conocemos actualmente.

por lo que al calcinarlos el flogisto se liberaba hacia el aire dejando la cal al descubierto, de esta forma debía pesar menos por la pérdida de dicho componente. El proceso inverso, es decir la reducción de la cal al metal ocurría cuando una sustancia rica en flogisto como el carbón, era puesta en contacto con la cal metálica y le transfería su flogisto para dar lugar nuevamente a la formación del metal.

Asimov (2003) sostiene que, durante mucho tiempo, todos los químicos de la época dieron por verdadera la teoría del flogisto y nadie se preocupó por comprobarla. Incluso Priestley utilizó esta teoría para explicar las transformaciones de los gases –también llamados fluidos elásticos–. Aunque Priestley encontró que la combustión podía mantenerse por más tiempo en un tipo de aire al que nombró “aire desflogistizado”, –obtenido al calentar la cal de mercurio–, no pudo interpretar que se trataba de un gas que Lavoisier llamó años más tarde oxígeno, el cual era indispensable para que las combustiones pudieran llevarse a cabo.

No fue sino hasta 1777 cuando inició un cambio en el pensamiento de aquellos químicos y fue gracias a que Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) realizó experimentos con plomo, mercurio y estaño. Este químico francés era muy cuidadoso en su trabajo y determinaba la masa de cada una de las sustancias antes y después del experimento. Lavoisier encontró que después de calentar dichos metales hasta la calcinación, se obtenía una cal y que la sustancia obtenida había ganado peso en lugar de perderlo. Estos resultados no concordaban con la teoría del flogisto, así que Lavoisier se preguntó: ¿cómo es posible esto?, ¿cómo es que la cal es más pesada que el metal pese a que éste ha perdido flogisto? En tal caso, el peso del flogisto tendría que ser negativo lo cual era completamente absurdo.

Después de repetir muchas veces sus experimentos y anotar todas sus observaciones en una bitácora, Lavoisier demostró que los metales que había calcinado se combinaban con un elemento presente en el aire lo que originaba una sustancia más pesada²². Con las aportaciones de Lavoisier, los químicos de la época abandonaron progresivamente la teoría del flogisto y adoptaron la teoría de la combustión basada en el oxígeno, con lo cual se comprendió que se trataba de una reacción química.

En 1783 Lavoisier entregó un documento a la Real Academia de Ciencias en donde reportaba sus reflexiones sobre la teoría del flogisto y en 1786 publicó su abandono total a la mencionada teoría que había desencaminado a los químicos durante tanto tiempo.

Este pequeño recorrido histórico, nos hace reflexionar sobre la importancia de la combustión para el hombre y de cómo este fenómeno lo ha acompañado siempre. La combustión ha sido la base de grandes cambios, desde la máquina de vapor que dio origen a la Revolución

22 Ahora sabemos que Lavoisier en sus experimentos obtuvo óxido de estaño, óxido de plomo y óxido de mercurio, por lo tanto, al sumar la masa del metal con la del oxígeno originaba sustancias con mayor masa.

Industrial, seguido por los motores de combustión interna –base del transporte de la actualidad–, hasta los viajes espaciales que son posibles gracias a esta reacción química.

Hasta aquí hemos revisado los aspectos: epistemológico, didáctico y disciplinar que constituyen el marco teórico de esta tesis. En el capítulo 4 se presentan con detalle y se construyen cada uno de los modelos explicativos que al tensarlos generan como producto el constructo teórico-metodológico denominada Modelo Científico Escolar de Arribo, el cual ha de guiar el diseño de la secuencia didáctica que se propone para modelizar el cambio químico.

“Si existe algo que sea central a la química, es el cambio”.

Roald Hoffmann (premio Nobel de química).

CAPÍTULO 4

MARCO METODOLÓGICO Y CONSTRUCCIÓN DE MODELOS

Al inicio del presente capítulo, se describe la metodología a seguir para intervenir –mediante el diseño de una secuencia didáctica– en la construcción del conocimiento sobre la reacción química en una muestra de estudiantes de secundaria. Posteriormente se describen y construyen los modelos: Modelo Explicativo Inicial (MEI), Modelo Curricular (MCu), Modelo Científico (MCi) y Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) propuestos por López-Mota y Rodríguez-Pineda, 2013 y López-Mota y Moreno-Arcuri, 2014. Al final del capítulo se enlistan los criterios de diseño de la secuencia didáctica derivados del MCEA.

4.1 Metodología propuesta

Acción 1. Investigar la importancia del fenómeno de interés –la combustión– y las generalidades del mismo.

Acción 2. Revisar en la literatura especializada las ideas previas del alumnado sobre el fenómeno de interés ya mencionado e inferir el Modelo Explicativo Inicial (MEI).

Acción 3. Realizar una revisión del currículo propuesto para la enseñanza del cambio químico en secundaria e inferir el Modelo Curricular (MCu).

Acción 4. Revisar el contenido especializado sobre el fenómeno en estudio en libros de texto universitarios o de nivel superior e inferir el Modelo Científico (MCi).

Acción 5. Construir el Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA), que actuará como guía para el diseño de una secuencia didáctica.

Acción 6. Diseñar la secuencia didáctica con base en el MCEA para modelizar el cambio químico.

Acción 7. Diseñar los instrumentos necesarios para la recopilación de datos.

Acción 8. Aplicar la secuencia didáctica y recabar las respuestas de los estudiantes en los instrumentos diseñados.

Acción 9. Analizar los resultados y evaluar de manera cualitativa el grado de comprensión que alcanzaron los estudiantes, al comparar el MCEA con su Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL).

Acción 10. Recuperar los objetivos de la investigación y elaborar las conclusiones.

Una vez planteada la metodología a seguir para diseñar la secuencia didáctica que permita la modelización del cambio químico, presento el tipo de investigación /intervención en el que se ubica este trabajo, el instrumento diseñado para recopilar la información y tanto la construcción como la contrastación de los modelos teóricos mencionados anteriormente.

4.2 Tipo de investigación/intervención

La investigación/intervención que aquí se presenta tiene un corte cualitativo. Para comprender mejor este enfoque se presenta a continuación un breve resumen de las características del mismo.

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2010:, p.), *“la investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno”*, y a lo largo de la historia de la ciencia han surgido diversas corrientes de pensamiento²³ que han generado incontables avances científicos y sociales. Dichas corrientes se han agrupado en dos grandes enfoques: el **cuantitativo** y el **cualitativo**, ambos enfoques emplean procesos cuidadosos, metódicos y empíricos en su aplicación para generar conocimiento y en términos generales comparten las siguientes características:

1. *“Llevan a cabo la observación evaluación de fenómenos.*
2. *Establecen suposiciones o ideas como consecuencia de la observación y evaluación realizadas.*
3. *Demuestran el grado en que las suposiciones o ideas tienen fundamento.*
4. *Revisan dichas suposiciones o ideas sobre la base de las pruebas o del análisis.*
5. *Proponen nuevas observaciones y evaluaciones para clarificar, modificar o fundamentar las suposiciones realizadas, e incluso para generar otras”.*

²³ Estas corrientes son: el empirismo, el materialismo dialéctico, el positivismo, la fenomenología, el estructuralismo, el constructivismo entre otros.

Aunque ambos enfoques comparten las características anteriores, cada uno tiene las propias, en este caso me centraré en exponer las características del enfoque cualitativo, por ser el ámbito en el cual se ubica mi investigación.

Para Hernández, Fernández y Baptista (2010, p.7), “*el enfoque cualitativo utiliza la recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación*”. En la figura 4.1 se observan las principales características de este enfoque.

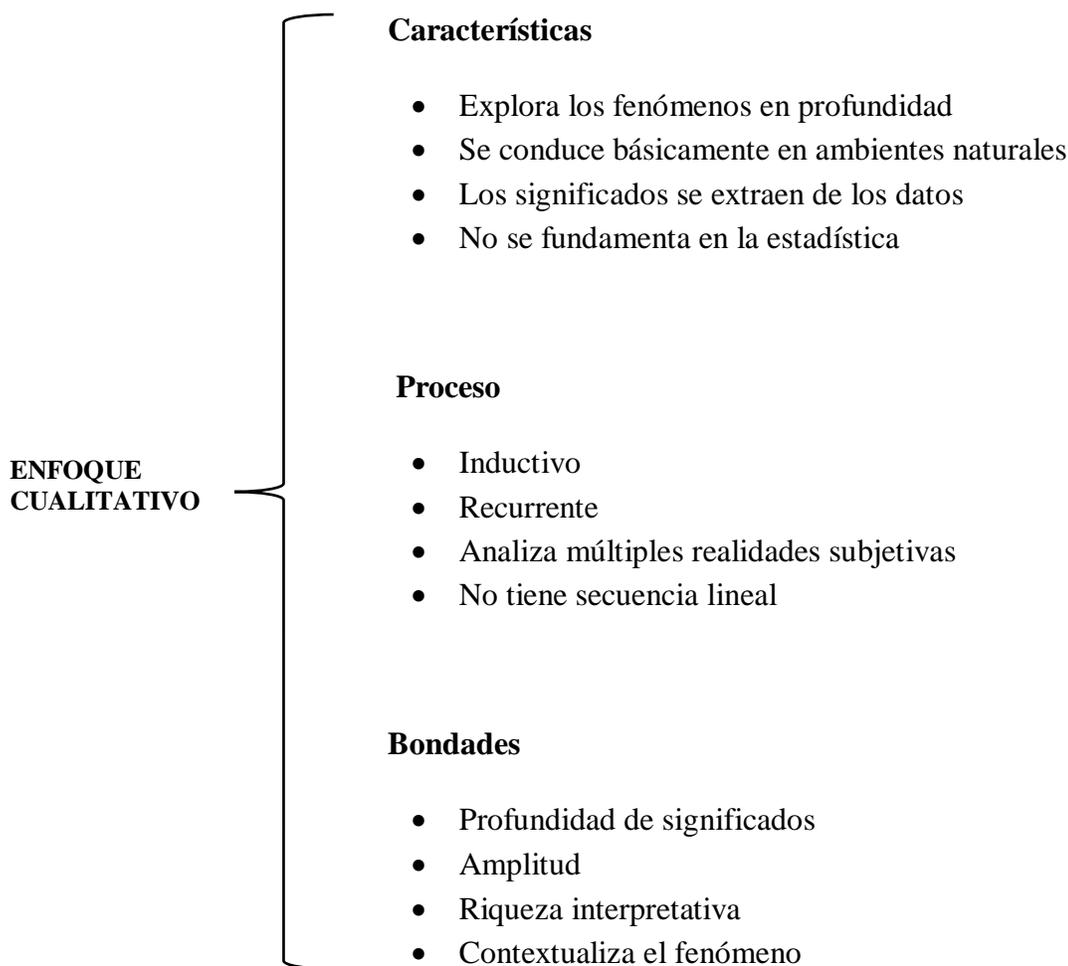


Fig. 4.1 Características del enfoque cualitativo. Adaptado de Hernández, Fernández y Baptista (2010, p.3).

Hernández, Fernández y Baptista (2010, p.4), argumentan que los estudios con enfoque cualitativo, se guían por “*áreas o temas significativos de investigación*” y pueden desarrollar preguntas de investigación “*antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos*”. Con determinada frecuencia, tales actividades permiten descubrir primero, cuáles son las preguntas de investigación más importantes para refinarlas o responderlas después. La

acción investigadora se mueve entre los hechos y su interpretación de manera dinámica, en ambos sentidos, resultando un proceso circular en donde la secuencia no siempre es la misma, ya que “*varía de acuerdo con cada estudio en particular*”.

En la figura 4.2 se muestra por ejemplo el dinamismo de la acción investigadora presente en el enfoque cualitativo, en ella se observa que la vinculación de la teoría con las etapas del proceso está representada por flechas curvadas y cabe mencionar que aunque se realiza una revisión inicial de la literatura, es posible complementar esta fase en cualquier etapa del estudio; “*puediendo apoyar desde el planteamiento del problema hasta la elaboración del reporte de los resultados*” (Hernández, Fernández y Baptista, 2010, p.7).

En la investigación cualitativa, resulta necesario regresar a etapas previas con cierta frecuencia. Por ello, las flechas que van de las fases: inmersión inicial en el campo, –la cual implica “*sensibilizarse con el ambiente o entorno en el cual se llevará a cabo el estudio*”– hasta el reporte de resultados son en dos sentidos.

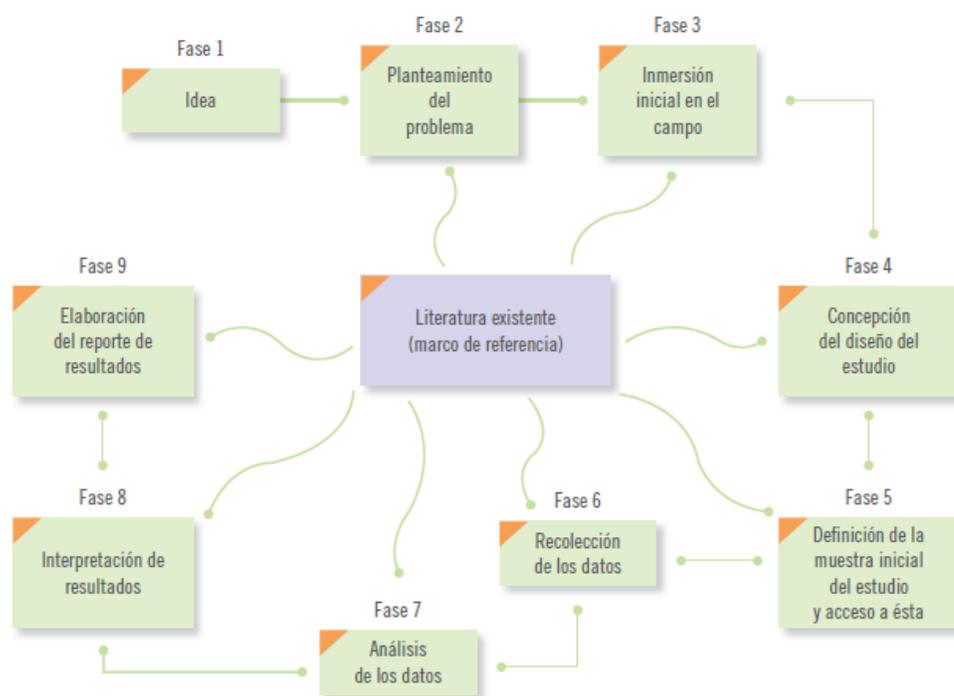


Figura 4.2 Fases del proceso cualitativo. Fuente: Hernández, Fernández y Baptista (2010, p.8).

Además de lo anteriormente expuesto, de acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2010, p.9), el enfoque cualitativo tiene las siguientes características:

1. “*El investigador o investigadora plantea un problema, pero no sigue un proceso claramente definido. Sus planteamientos no son tan específicos como en el enfoque cuantitativo y las preguntas de investigación no siempre se han conceptualizado ni definido por completo.*”

2. *Bajo la búsqueda cualitativa, en lugar de iniciar con una teoría particular y luego “voltear” al mundo empírico para confirmar si ésta es apoyada por los hechos, el investigador comienza examinando el mundo social y en este proceso desarrolla una teoría coherente con los datos, de acuerdo con lo que observa.*
3. *Las investigaciones cualitativas se basan más en una lógica y proceso inductivo (explorar y describir, y luego generar perspectivas teóricas). Van de lo particular a lo general. Por ejemplo, en un típico estudio cualitativo, el investigador entrevista a una persona, analiza los datos que obtuvo y saca algunas conclusiones; posteriormente, entrevista a otra persona, analiza esta nueva información y revisa sus resultados y conclusiones; del mismo modo, efectúa y analiza más entrevistas para comprender lo que busca. Es decir, procede caso por caso, dato por dato, hasta llegar a una perspectiva más general.*
4. *En la mayoría de los estudios cualitativos no se prueban hipótesis, éstas se generan durante el proceso y van refinándose conforme se recaban más datos o son un resultado del estudio.*
5. *El enfoque se basa en métodos de recolección de datos no estandarizados ni completamente predeterminados. No se efectúa una medición numérica, por lo cual el análisis no es estadístico.*
6. *El investigador pregunta cuestiones abiertas, recaba datos expresados a través del lenguaje escrito, verbal y no verbal, así como visual, los cuales describe y analiza y los convierte en temas que vincula, y reconoce sus tendencias personales.*
7. *El investigador cualitativo utiliza técnicas para recolectar datos, como la observación no estructurada, entrevistas abiertas, revisión de documentos, discusión en grupo, evaluación de experiencias personales, registro de historias de vida e interacción e introspección con grupos o comunidades.*
8. *El proceso de indagación es más flexible y se mueve entre las respuestas y el desarrollo de la teoría.*
9. *Su propósito consiste en “reconstruir” la realidad, tal como la observan los actores de un sistema social previamente definido. A menudo se llama holístico, porque se precia de considerar el “todo”, –de acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2010, p.9) el “todo” es el fenómeno de interés– sin reducirlo al estudio de sus partes.*

10. *La investigación cualitativa se fundamenta en una perspectiva interpretativa centrada en el entendimiento del significado de las acciones de seres vivos, sobre todo de los humanos y sus instituciones (busca interpretar lo que va captando activamente).*
11. *Postula que la “realidad” se define a través de las interpretaciones de los participantes en la investigación respecto de sus propias realidades. De este modo convergen varias “realidades”, por lo menos la de los participantes, la del investigador y la que se produce mediante la interacción de todos los actores. Además, son realidades que van modificándose conforme transcurre el estudio y son las fuentes de datos.*
12. *Por lo anterior, el investigador se introduce en las experiencias de los participantes y construye el conocimiento, siempre consciente de que es parte del fenómeno estudiado. Así, en el centro de la investigación está situada la diversidad de ideologías y cualidades únicas de los individuos.*
13. *El enfoque cualitativo puede concebirse como un conjunto de prácticas interpretativas que hacen al mundo “visible”, lo transforman y convierten en una serie de representaciones en forma de observaciones, anotaciones, grabaciones y documentos. Es naturalista (porque estudia a los objetos y seres vivos en sus contextos o ambientes naturales y cotidianidad) e interpretativo (pues intenta encontrar sentido a los fenómenos en función de los significados que las personas les otorgan)”.*

Creswell (1997) y Neuman (1994) citados por Hernández, Fernández y Baptista (2010, p.10) sintetizan las actividades principales que realiza el investigador cualitativo:

- *“Adquiere un punto de vista “interno” (desde dentro del fenómeno), aunque mantiene una perspectiva analítica o una cierta distancia como observador(a) externo(a).*
- *Utiliza diversas técnicas de investigación y habilidades sociales de una manera flexible, de acuerdo con los requerimientos de la situación.*
- *No define las variables con el propósito de manipularlas experimentalmente.*
- *Produce datos en forma de notas extensas, diagramas, mapas o “cuadros humanos” para generar descripciones bastante detalladas.*
- *Extrae significado de los datos y no necesita reducirlos a números ni debe analizarlos estadísticamente (aunque el conteo puede utilizarse en el análisis).*

- *Entiende a los participantes que son estudiados y desarrolla empatía hacia ellos; no sólo registra hechos objetivos, “fríos”.*
- *Mantiene una doble perspectiva: analiza los aspectos explícitos, conscientes y manifiestos, así como aquellos implícitos, inconscientes y subyacentes.*
- *Observa los procesos sin irrumpir, alterar o imponer un punto de vista externo, sino tal como los perciben los actores del sistema social”.*

4.3 Instrumentos para recopilar la información

Para llevar a cabo la recolección de los datos, se diseñó un cuestionario de 7 preguntas abiertas, titulado: *¿Y tú que piensas de la Reacción Química?* Dicho cuestionario se aplicó a los estudiantes de forma individual antes y después de la secuencia. En las respuestas a las preguntas –en donde se analizaron tanto los textos como los dibujos realizados por los alumnos– se busca identificar **entidades, relaciones y condiciones** presentes o no en los estudiantes y de esta forma inferir primero su Modelo Explicativo Inicial y al final de la secuencia, el Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL).

Durante el desarrollo de la secuencia se realizaron preguntas abiertas que los estudiantes contestaron en su bitácora de laboratorio, se realizaron dibujos, carteles, modelos tridimensionales con esferas de unicel y exposición oral que se evaluó con rúbrica. Lo anterior es de utilidad para inferir los modelos parciales que el alumnado va construyendo conforme se avanza en las actividades de la secuencia, sin embargo, en este trabajo no se presentan los resultados de los modelos parciales construidos por los estudiantes. Lo que se presenta es su Modelo Explicativo Inicial, el modelo que lograron construir al final de la secuencia y en qué medida alcanzaron el Modelo Científico Escolar de Arribo.

Las preguntas que se plantearon en el cuestionario se centraron en la naturaleza del proceso, con especial atención en:

- Los reactivos y productos de la reacción.
- La participación del oxígeno como comburente.
- Las entidades, relaciones y condiciones que caracterizan al fenómeno.
- La naturaleza de la llama/fuego,
- La conservación de la materia.

Las preguntas que integran dicho cuestionario son las siguientes:

1. ¿Qué crees que le sucede a un material como la madera o el papel cuando se queman?
2. Expresa mediante un dibujo lo que escribiste en la pregunta anterior. Ponle nombre a cada cosa que aparece en tu dibujo.
3. ¿De qué piensas que está hecha la llama que se genera?

4. ¿Por qué crees que unas cosas pueden quemarse y otras no?
5. ¿Cuáles crees que son las condiciones necesarias para que un material se queme?
6. ¿Por qué si se le sopla a una fogata, se enciende más rápido?
7. Observa el dibujo, lee y contesta. Ver la figura 4.3.

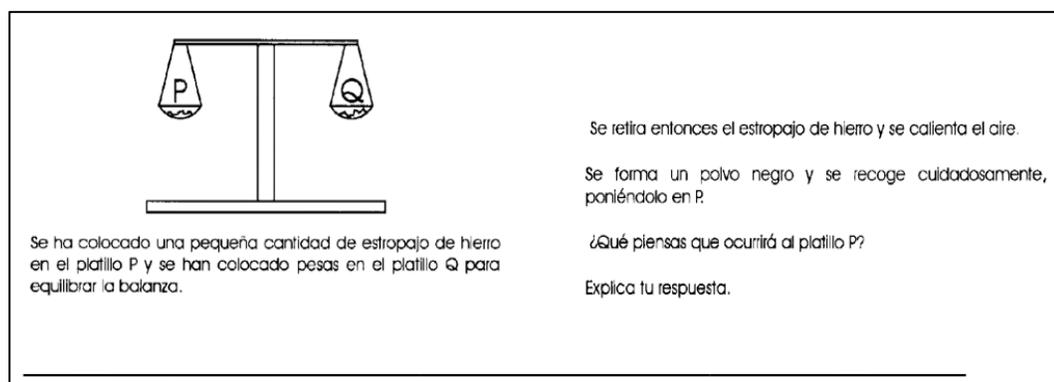


Fig. 4.3 Esquema empleado en la pregunta 7. Adaptado de Driver (1988).

En la pregunta número 1 se busca que el estudiante mencione las entidades que participan en el fenómeno y las relaciones que se dan entre dichas entidades, para así categorizar la respuesta.

La pregunta número 2 tiene la finalidad de que los estudiantes expresen con dibujos las entidades y las relaciones presentes en el fenómeno y si es posible que también mencionen las condiciones que ellos consideren necesarias para que se lleve a cabo. De acuerdo con mi experiencia docente, considero que en ocasiones para los estudiantes es más fácil expresar sus pensamientos con dibujos que de manera escrita.

La pregunta número 3 se planteó para detectar la naturaleza de la llama desde la perspectiva del estudiantado –si la considera materia o energía–, por qué se genera y qué características tiene.

En la pregunta número 4 se pretende que los estudiantes expresen la naturaleza de los reactivos, en específico las características de los materiales combustibles.

Con la pregunta 5 se buscan específicamente las condiciones presentes en los modelos de los estudiantes que ellos consideren necesarias para que un material se queme.

En la pregunta 6 se indaga sobre la importancia del oxígeno y su interacción con el combustible, es decir, qué ocurre si está presente en mayor o en menor cantidad.

Finalmente, con la pregunta 7 se pretende conocer lo que piensan los estudiantes sobre la conservación de la masa durante el cambio químico, es decir si consideran que la cantidad de átomos que participan en la reacción como reactivos se mantienen o no en los productos.

4.4 Construcción de los modelos teóricos que dan origen al MCEA expresados en los tres niveles de representación de la química

Justi (2006) considera que la enseñanza de las ciencias en el siglo XXI no debe basarse en la transmisión de conocimientos muchas veces obsoletos para los alumnos, sino que se debe tener una perspectiva que implique *“promover un modelo de enseñanza que ayude a las alumnas y alumnos a desarrollar una comprensión más coherente, flexible, sistemática y principalmente crítica”* de la ciencia. La autora considera que al enseñar empleando modelos, *“el aprendizaje puede tener lugar en dos momentos del proceso: en la construcción y en la utilización del modelo. Cuando construimos un modelo, creamos un tipo de estructura representativa y desarrollamos una forma científica de pensar”* Justi (2006, pp. 174 y175).

Con el objetivo de apoyar a los docentes en esta importante tarea, Justi (2006) propone la construcción de un modelo explicativo que se lleva a cabo en tres etapas:

1. Construcción de un modelo inicial.
2. Decisión de la forma de representación del modelo.
3. Comprobación del modelo.

Etapa 1. Construcción de un modelo inicial. En primer lugar, es importante destacar que todos los modelos que se construyan en la clase de ciencias deben tener un objetivo específico. A partir de este objetivo se buscan observaciones iniciales (directas o indirectas, cualitativas o cuantitativas) acerca del fenómeno que se pretende modelizar, es decir tomar en cuenta las experiencias que los estudiantes ya tienen sobre determinado fenómeno. Estas experiencias pueden ser observaciones empíricas o informaciones previamente existentes en la estructura cognitiva del alumnado, ya sea obtenidas de fuentes externas acerca del fenómeno, –literatura científica–, o del contexto en el cual está inmerso. Simultáneamente a la organización de dichas experiencias en la mente del individuo, se han de seleccionar los aspectos de la realidad que se usarán para describir el objeto a modelar. Estos aspectos de la realidad pueden ser situaciones con las que parezca posible establecer una analogía. A partir de la obtención y organización de experiencias, selección de una fuente adecuada, la creatividad y el razonamiento crítico del individuo será posible elaborar un modelo inicial.

Etapa 2. Decisión de la forma de representación del modelo. En esta etapa se ha de decidir la forma de representación más adecuada para el modelo: concreta, visual, verbal, matemática, computacional, entre otras. Como se ha mencionado con anterioridad, el modelo puede representarse de diferentes formas.

Etapa 3. Comprobación del modelo. Esta es la etapa en la que se decide si el modelo propuesto cumple con el objetivo para el cual fue diseñado, o bien se sugieren modificaciones que le permitan representar un fenómeno.

Posterior a estas tres etapas, el modelo se ha de socializar, acción que constituye una cuarta etapa. En este momento “*el individuo hace explícito el ámbito de validez, así como las limitaciones del modelo en relación con el objetivo que inicialmente se había definido*” (Justi, 2006, p.177).

López-Mota y Rodríguez (2013) consideran que el planteamiento de Justi (2006) es válido para la enseñanza de las ciencias y plantean que para modelizar cualquier fenómeno es necesario construir un Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA), que conduzca al diseño de una secuencia didáctica en la que se tomen en cuenta tanto las ideas previas del alumnado como las propuestas planteadas por los planes y programas de estudio sobre la forma de abordar un determinado fenómeno, así como los conocimientos o planteamientos de la ciencia formal. Para ello, los mencionados autores proponen elaborar primero tres modelos que a continuación se enlistan:

1. **Modelo Explicativo Inicial (MEI)**. El cual se infiere a partir de la revisión de la literatura sobre las ideas previas de los estudiantes.
2. **Modelo Curricular (MCu)**. Este modelo se infiere a partir de la revisión de los planes y programas de estudio, de los libros de texto correspondientes al nivel educativo a intervenir y al fenómeno a modelizar.
3. **Modelo Científico (Mci)**. El MCI se infiere una vez realizada la revisión del contenido científico relacionado con el fenómeno a estudiar.

Estos autores consideran que es importante expresar dichos modelos de forma homogénea, por lo que recomiendan plantearlos en términos de elementos, relaciones y normas de operación²⁴ (Schwartz, 2009), “*para poder operativizarlos de tal manera que sean comparables*” (López-Mota y Rodríguez, 2013, p.2011).

Una vez que se hayan construido los tres modelos anteriores, López-Mota y Rodríguez (2013) argumentan que a partir de la tensión de dichos modelos se llegará a la construcción de un nuevo modelo al cual han denominado Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA). Este modelo, producto de la tensión –como ya se mencionó anteriormente, entre el MEI, el MCu y el MCI– ha de proporcionar los criterios teóricos y metodológicos específicos para orientar las actividades didácticas de la secuencia a diseñar.

El MCEA será útil también tanto para conocer los modelos alcanzados por los estudiantes como para valorar que tan cercanos son al MCEA postulado.

A continuación, se define, explica y construye en los tres niveles de representación de la química, cada uno de los modelos sugeridos por López-Mota y Rodríguez (2013).

²⁴ Para este estudio las normas de operación serán entendidas como condiciones y los elementos del modelo serán llamados entidades, para evitar confusión con los elementos químicos.

4.4.1 Modelo Explicativo Inicial y su construcción

En esta propuesta se entenderá como Modelo Explicativo Inicial (MEI) a la forma en que los estudiantes se explican el fenómeno de la combustión. Dicho modelo es producto de la investigación teórica, ya que se infiere a partir de la revisión de las ideas previas que el estudiantado tiene sobre el mencionado fenómeno y que se encuentran reportadas en la literatura especializada. En el capítulo 2 ya se han descrito con detalle algunas investigaciones sobre las ideas previas que los estudiantes de 14 a 15 años de edad tienen sobre el fenómeno de la combustión.

López-Mota y Moreno-Arcuri (2014), proponen una opción para elaborar el MEI cuando no existe suficiente información reportada en la literatura: *“a través de la recolección de información con muestras de estudiantes con los que se va a trabajar, de los modelos presentes en ellos”* (López-Mota y Moreno-Arcuri, 2014, p.14).

Revisadas las diferentes fuentes de información, he decidido tomar como base las cinco categorías planteadas por Andersson (1986, 1990) y plantearlas en términos de modelos –como lo indiqué en el capítulo 2–, para que sean coherentes con los otros modelos a construir. De esta forma será posible inferir el Modelo Explicativo Inicial (MEI).

Las categorías planteadas por Andersson (1986, 1990) son las siguientes:

- A) Desaparición
- B) Desplazamiento
- C) Modificación
- D) Transmutación
- E) Interacción química

A. Desaparición

En esta categoría se agrupan aquellas explicaciones en donde los estudiantes consideran que los materiales son consumidos por el fuego o desaparecen quedando sólo cenizas o polvo.

B. Desplazamiento

Esta categoría abarca las explicaciones en las cuales los estudiantes piensan que una sustancia existe en el interior de otra y que pueden desplazarse de un lugar a otro, es decir cambiar de posición o salir de dicha sustancia. Un ejemplo es el planteado por Méheut et al. (1985) en donde un estudiante de 12 años llamado Fred, piensa que durante la combustión del alcohol se desprende agua, pero no entiende de donde salió, ya que él no veía el agua en el alcohol.

C. Modificación

De acuerdo con Andersson (1990) en esta categoría se encuentran las ideas previas en donde los estudiantes creen que durante una reacción química un material o sustancia sufre algunos cambios en sus propiedades físicas, pero en realidad sigue siendo la misma sustancia o el mismo material; sólo que se ha modificado en su aspecto o en su estado de agregación.

D. Transmutación

En esta categoría propuesta por Andersson (1990), se clasifican las transformaciones en las que los alumnos consideran que una sustancia se vuelve o se convierte en otra nueva sustancia o en energía. También pertenecen a esta categoría las ideas que implican que la energía se convierta en una sustancia.

E. Interacción química²⁵

A esta categoría corresponden las explicaciones de los estudiantes que consideran al cambio químico una transformación en donde intervienen unas sustancias que se combinan con otras para dar origen a una o varias sustancias diferentes. De acuerdo con Andersson (1986, 1990) son pocos los alumnos que explican las transformaciones químicas en términos de interacción química.

Las categorías anteriormente descritas han sido expuestas ampliamente en el capítulo 2 y son de mucha utilidad para clasificar las ideas de los estudiantes con respecto al cambio químico antes y después de la instrucción.

4.4.1.1 Inferencia del Modelo Explicativo Inicial

El MEI inferido una vez analizadas y clasificadas las ideas previas de los estudiantes –reportadas en la literatura–, se presenta en términos de entidades, relaciones y condiciones en la tabla 4.1 y en la figura 4.4.

COMPONENTES	NIVEL MACROSCÓPICO	NIVEL SUBMICROSCÓPICO	NIVEL SIMBÓLICO
ENTIDADES	- Material que se quema - Fuego - Humo - Cenizas	X	X
RELACIONES	-El material se convierte en cenizas y carbón (sólidos) -Salen llamas (energía)		

²⁵ En este estudio, los conceptos Interacción química y Reacción química serán considerados equivalentes.

	-Salen humos (gases) Sólo quedan cenizas	X	X
CONDICIONES	X	X	X

Tabla 4.1. Entidades, relaciones y condiciones del MEI.

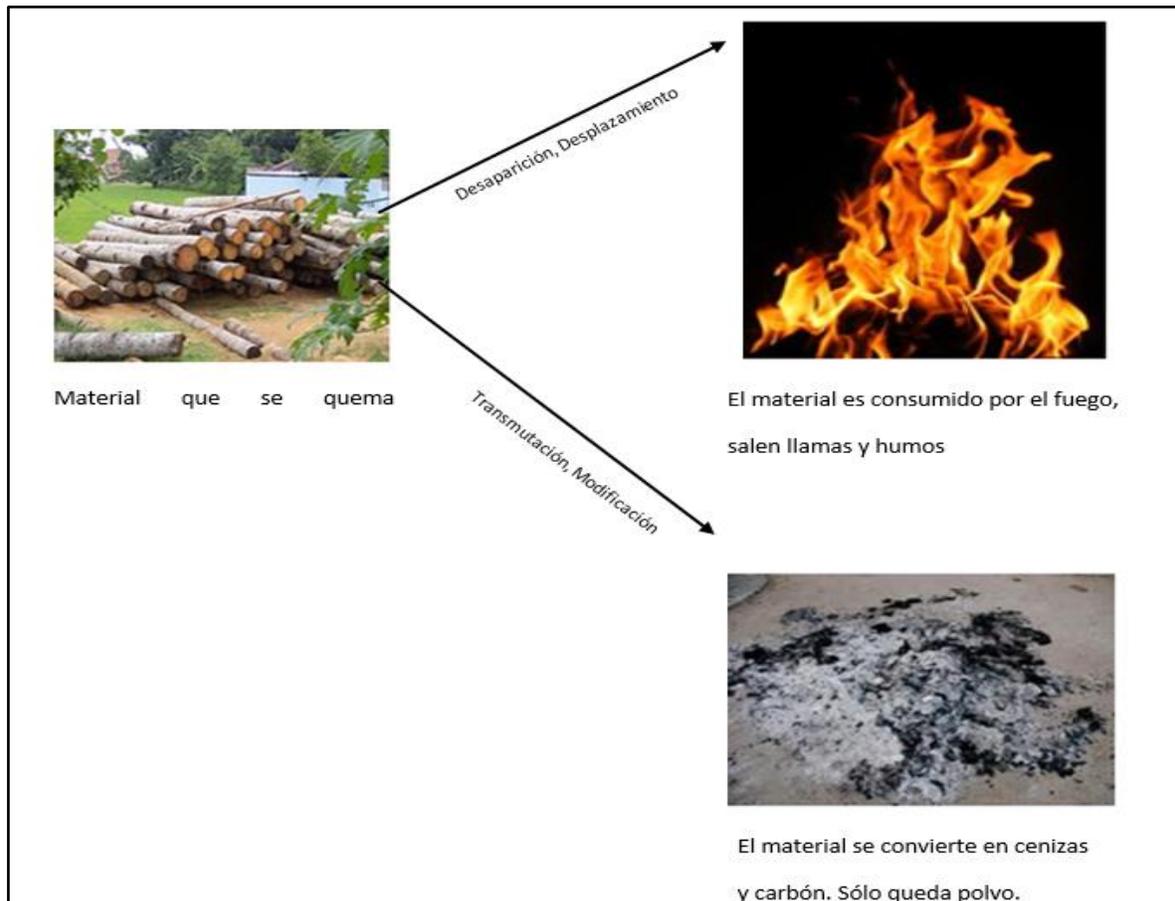


Fig. 4.4. Representación del MEI. Adaptado de acuerdo a las categorías de Andersson (1986, 1990).

Como se observa tanto en la tabla 4.1 como en la figura 4.4, los estudiantes visualizan y representan el fenómeno de la combustión solamente en términos macroscópicos y sin tomar en cuenta las condiciones necesarias para que el fenómeno se lleve a cabo.

4.4.2 Modelo curricular

Debido a que los modelos científicos son frecuentemente complejos o bien su representación resulta generalmente complicada, lo que se enseña en la clase de ciencias son simplificaciones de estos modelos. Dichas simplificaciones se denominan modelos curriculares (Justi, 2006, p.176). Los modelos curriculares que se han de emplear en las clases de ciencias, deben corresponder al nivel educativo grado y asignatura, para que el alumnado

construya aprendizajes significativos. En la formulación de los modelos curriculares, es imprescindible tomar en cuenta tanto los propósitos para el estudio de las Ciencias Naturales en la Educación Básica que plantea la Secretaría de Educación Pública, como los propósitos para la educación secundaria, los estándares curriculares y los aprendizajes esperados. A continuación, se presentan los aspectos mencionados anteriormente.

4.4.2.1 Propósitos para el estudio de las Ciencias Naturales en la Educación Básica

De acuerdo con SEP (2011, p.13), *“El estudio de las Ciencias Naturales en la Educación Básica busca que niños y adolescentes:*

- *Reconozcan la ciencia como una actividad humana en permanente construcción, con alcances y limitaciones, cuyos productos son aprovechados según la cultura y las necesidades de la sociedad.*
- *Participen en el mejoramiento de su calidad de vida a partir de la toma de decisiones orientadas a la promoción de la salud y el cuidado ambiental, con base en el consumo sustentable.*
- *Aprecien la importancia de la ciencia y la tecnología y sus impactos en el ambiente en el marco de la sustentabilidad.*
- *Desarrollen habilidades asociadas al conocimiento científico y sus niveles de representación e interpretación acerca de los fenómenos naturales.*
- *Comprendan, desde la perspectiva de la ciencia escolar, procesos y fenómenos biológicos, físicos y químicos.*
- *Integren los conocimientos de las ciencias naturales a sus explicaciones sobre fenómenos y procesos naturales al aplicarlos en contextos y situaciones diversas.”*

Específicamente para el estudio de las Ciencias, de acuerdo con SEP (2011, p.14) en la educación secundaria, se pretende que los estudiantes:

- *“Valoren la ciencia como una manera de buscar explicaciones, en estrecha relación con el desarrollo tecnológico y como resultado de un proceso histórico, cultural y social en constante transformación.*
- *Participen de manera activa, responsable e informada en la promoción de su salud, con base en el estudio del funcionamiento integral del cuerpo humano y de la cultura de la prevención.*
- *Practiquen por iniciativa propia acciones individuales y colectivas que contribuyan a fortalecer estilos de vida favorables para el cuidado del ambiente y el desarrollo sustentable.*
- *Avancen en el desarrollo de sus habilidades para representar, interpretar, predecir, explicar y comunicar fenómenos biológicos, físicos y químicos.*
- *Amplíen su conocimiento de los seres vivos, en términos de su unidad, diversidad y evolución.*

- *Expliquen los fenómenos físicos con base en la interacción de los objetos, las relaciones de causalidad y sus perspectivas macroscópica y microscópica.*
- *Profundicen en la descripción y comprensión de las características, propiedades y transformaciones de los materiales, a partir de su estructura interna básica.*
- *Integren y apliquen sus conocimientos, habilidades y actitudes para proponer soluciones a situaciones problemáticas de la vida cotidiana.”*

4.4.2.2 Los Estándares Curriculares de Ciencias en la Educación Secundaria

De acuerdo con SEP (2011, p.15) *“Los Estándares Curriculares de Ciencias presentan la visión de una población que utiliza saberes asociados a la ciencia, que les provea de una formación científica básica al concluir los cuatro periodos escolares. Se presentan en cuatro categorías:*

- 1. Conocimiento científico.*
- 2. Aplicaciones del conocimiento científico y de la tecnología.*
- 3. Habilidades asociadas a la ciencia.*
- 4. Actitudes asociadas a la ciencia.*

La progresión a través de los estándares de Ciencias debe entenderse como:

- *Adquisición de un vocabulario básico para avanzar en la construcción de un lenguaje científico.*
- *Desarrollo de mayor capacidad para interpretar y representar fenómenos y procesos naturales.*
- *Vinculación creciente del conocimiento científico con otras disciplinas para explicar los fenómenos y procesos naturales, y su aplicación en diferentes contextos y situaciones de relevancia social y ambiental.”*

4.4.2.3 El estudio de la química en la escuela secundaria

El curso de Ciencias III (con énfasis en química) para la educación secundaria (SEP, 2011), se centra fundamentalmente en el ámbito de las características y propiedades de los materiales, así como su clasificación química, para pasar después al estudio de cómo dichos materiales se transforman y generan nuevos productos como lo explica la reacción química o cambio químico. *“Con ello se busca desarrollar en los alumnos la capacidad de explicar algunos fenómenos y procesos químicos que suceden en su entorno, a partir de la representación de la estructura interna de los materiales; para ello, se parte de aproximaciones que van de lo macroscópico y perceptible, a lo microscópico y abstracto”* (SEP, 2011, p.62).

Aunque la enseñanza de la química en la escuela secundaria tiene un enfoque básicamente formativo, el contenido que abarca el plan de estudios pretende lograr en el alumnado una formación científica básica (Sanmartí, 2002 e Izquierdo et al., 2007) —en este caso es una

formación química básica– a partir de una metodología de enseñanza que permita tanto mejorar los procesos de aprendizaje como la apropiación de conocimientos conceptuales, procedimentales y actitudinales, acotados en profundidad por la delimitación conceptual apropiada a su edad y relacionados con la ciencia escolar (SEP, 2011). La intención es que, mediante ejemplos paradigmáticos, actividades experimentales y la construcción e interpretación de modelos; los estudiantes se planteen preguntas sobre temas como la estructura, propiedades y transformación de los materiales y construyan explicaciones sobre algunos fenómenos químicos que ocurren cotidianamente en el mundo que nos rodea. Se hace énfasis en los modelos como una herramienta esencial para el aprendizaje de la química, al mismo tiempo que se consideran sus alcances y limitaciones. De acuerdo con Gabel (1999) muchos de los conceptos estudiados en química son abstractos e inexplicables sin el uso de analogías o modelos, ya que la modelización facilita que los fenómenos químicos puedan ser estudiados desde el nivel macroscópico, pero también posibilitan que sean descritos desde el punto de vista sub-microscópico y simbólico, con lo cual las explicaciones parecen ser más definitivas.

A continuación, presento el currículo de Ciencias III (con énfasis en química) para la escuela secundaria.

Con el currículo de ciencias diseñado para química en la escuela secundaria, se pretende lograr que el alumnado realmente se desarrolle en el contexto de la ciencia escolar y adquiera una formación científica básica. Para ello es necesario reconocer la importancia de la planeación docente, así como establecer una metodología de enseñanza que posibilite la comprensión de la química por parte de los estudiantes. De acuerdo con SEP (2011, p.17) una vez que los estudiantes han concluido su formación química básica, han de ser capaces de:

- a) *“Identificar las propiedades físicas de los materiales, así como la composición y pureza de las mezclas, compuestos y elementos.*
- b) *Identificar los componentes de las mezclas, su clasificación, los cambios de sus propiedades en función de su concentración, así como los métodos de separación.*
- c) *Identificar las características del modelo atómico (sus partículas y sus funciones).*
- d) *Explicar la organización y la información contenida en la Tabla Periódica de los Elementos, y la importancia de algunos de ellos para los seres vivos.*
- e) *Identificar el aporte calórico de los alimentos y su relación con la cantidad de energía requerida por una persona.*
- f) *Identificar las propiedades de los ácidos y las bases, así como las características de las reacciones redox.*
- g) *Identificar las características del enlace químico y de la reacción química.”*

Para alcanzar los aprendizajes esperados al igual que la formación científica básica, el plan de estudios SEP (2011, p.21) recomienda que los docentes de química también deben considerar los siguientes aspectos:

- *“Abordar los contenidos desde contextos vinculados a la vida personal, cultural y social de los alumnos, con el fin de que identifiquen la relación entre la ciencia, el desarrollo tecnológico y el ambiente.*
- *Estimular la participación activa de los estudiantes en la construcción de sus conocimientos científicos, aprovechar su curiosidad e interés por conocer y explicar el mundo, utilizar sus saberes y replantearlos cuando sea necesario.*
- *Desarrollar de manera integrada los contenidos desde una perspectiva científica a lo largo de la Educación Secundaria, para contribuir al desarrollo de las competencias necesarias para la vida, al perfil de egreso y a las competencias específicas de la química.*
- *Promover la visión de la naturaleza de la ciencia como construcción humana, cuyos alcances y explicaciones se actualizan de manera permanente”.*

4.4.2.4 Los aprendizajes esperados para la asignatura de Ciencias III (Química)

En el plan curricular que establece la Secretaría de Educación Pública, se encuentran los aprendizajes esperados para cada uno de los cinco bloques que forman parte de la asignatura de Ciencias III (Química). El tema de cambio químico, se ubica en el Bloque III. Con el título: La transformación de los materiales: la reacción química.

En este bloque *“se aborda la identificación del cambio químico y se orienta al tratamiento de reacciones químicas sencillas que ocurren en fenómenos cotidianos utilizando, entre otras habilidades, la interpretación y representación. Asimismo, se destaca que en una reacción química se absorbe y desprende calor”* (SEP, 2011, p.63). Los aprendizajes esperados en el tema de reacción química de acuerdo con SEP (2011, p.68), son los siguientes:

- *“Describe algunas manifestaciones de cambios químicos sencillos (efervescencia, emisión de luz o calor, precipitación, cambio de color).*
- *Identifica las propiedades de los reactivos y los productos en una reacción química.*
- *Representa el cambio químico mediante una ecuación e interpreta la información que contiene.*
- *Verifica la correcta expresión de ecuaciones químicas sencillas con base en la Ley de conservación de la masa.*
- *Identifica que en una reacción química se absorbe o se desprende energía en forma de calor.”*

Una vez revisados los aspectos que, de acuerdo con SEP (2011) se deben tomar en cuenta antes de abordar el tema que nos ocupa, presento la opinión de Caamaño (2007), quien considera que una vez analizado el currículum propuesto para la enseñanza de la química en la escuela secundaria es necesario plantearse las siguientes preguntas:

- *“¿Qué contenidos habrá que enseñar?*
- *¿Cuál es el mejor contexto con que abordar los contenidos?*

- *¿Qué dificultades de aprendizaje comportan estos contenidos?*
- *¿Cuáles son las mejores estrategias para abordar los contenidos y construir modelos químicos?” (p.19).*

El autor considera que debido a que la química es una de las asignaturas básicas en la educación secundaria, es importante lograr una buena comprensión de los fenómenos que esta ciencia estudia, por lo que recomienda plantearse las preguntas anteriores y tomarlas en cuenta en la planeación de las actividades didácticas a realizar.

Por su parte, Izquierdo, Espinet, García, Pujol y Sanmartí (1999), proponen adecuar el currículo a los intereses de los estudiantes para que los aprendizajes sean significativos, es decir que sean aplicables. Realizar actividades en donde haya interacción social, –puesto que el aprendizaje se da mediante interacciones sociales (Ernest, 1995) – desarrollar una práctica docente innovadora que busque la adquisición de valores, autonomía de pensamiento y capacidad de comunicación.

En mi opinión, el currículo de química de la educación secundaria se debe centrar en la relación de la química con el cuidado del medio ambiente, la salud y la alimentación, así como la aplicación de esta ciencia en el desarrollo de la industria y la tecnología.

Después de la revisión curricular realizada, expongo la forma en que se llevó a cabo la inferencia del Modelo Curricular (MCu).

4.4.2.5 Inferencia del Modelo Curricular

El Modelo Curricular (MCu) de cualquier fenómeno se infiere como lo indican López-Mota y Rodríguez (2013), a partir de la revisión del planteamiento curricular de los Planes y Programas de Estudio sobre el fenómeno a abordar o del contenido a impartir (López-Mota y Rodríguez-Pineda, 2013, p.2009). Para López-Mota y Moreno-Arcuri (2014, p.14) *“Esta tarea no es sencilla de realizar, ya que en muy contadas ocasiones se tienen currículos expresados en términos de modelos científicos escolares”*. Es decir que es necesario construir un modelo propio que abarque los intereses de los estudiantes la visión del profesor y la propuesta curricular.

El MCu que se propone en este trabajo de Tesis para modelizar el cambio químico a partir del fenómeno de la combustión, se infirió una vez revisados 10 libros de texto de ciencias III (con énfasis en Química), de los cuales se han seleccionado tres de ellos de manera aleatoria para presentar un análisis del contenido de los mismos. Los resultados de este análisis se presentan en la tabla 4.2.

TÍTULO, AUTOR Y CONTENIDO

Libro 1



Talanquer e Irazoque.
(2015). *Química.
Ciencias.*
México: Castillo, pp.
150-160.

En este libro el cambio químico se aborda en los bloques 3 y 4.

BLOQUE 3. La transformación de los materiales: la reacción química.

BLOQUE 4. La formación de nuevos materiales.

En el bloque 3 se abordan las principales características del cambio químico y se describen algunas manifestaciones de los cambios químicos como efervescencia, precipitación, cambio de coloración y emisión de luz o calor.

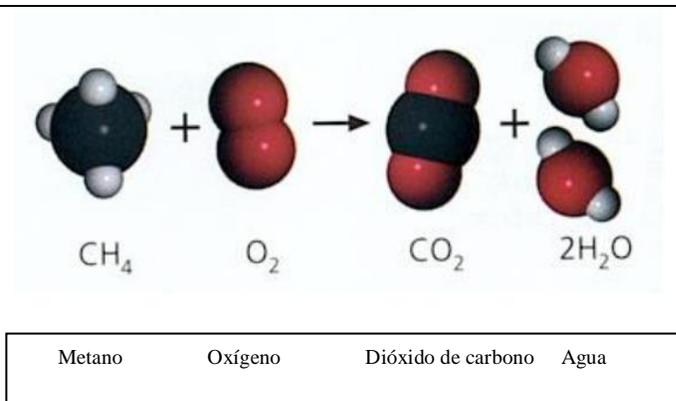
La idea central que se plantea es que cuando dos reactivos se ponen en contacto y sus moléculas chocan entre sí, se ocasiona que algunos enlaces químicos se rompan. El rompimiento de enlaces permite que ciertos átomos formen uniones con otros átomos lo que da lugar a la formación de nuevas moléculas o nuevos productos.

En relación con la conservación de la materia, los autores explican que los átomos “*no se crean ni se destruyen durante una reacción química, simplemente se enlazan y reorganizan de manera diferente para formar otras moléculas, y por ello la masa total del sistema se conserva*” (Talanquer e Irazoque, 2015, p.159).

Se emplea la combustión del metano como uno de los ejemplos del cambio químico en las páginas 159 y 160.

Se expresa la reacción en términos sub-microscópicos y posteriormente se da una explicación sencilla de cómo se lleva a cabo este fenómeno.

Representación de la reacción de combustión del metano en presencia de oxígeno:



Explicación que dan los autores sobre la reacción de combustión: “*los enlaces entre el átomo de carbono y los de hidrógeno en la molécula de metano (CH₄) deben romperse, al igual que los enlaces entre los átomos de la molécula de oxígeno (O₂). Durante la reacción, los átomos de carbono e hidrógeno crearán nuevos enlaces con átomos de oxígeno para formar dióxido de carbono y agua*” (Talanquer e Irazoque, 2015, p.160). Los autores explican que para que la ecuación química esté balanceada se necesita que por cada molécula de metano (CH₄) reaccionen dos moléculas de oxígeno (O₂). Cada molécula de oxígeno está formada por dos átomos de este elemento y entonces dos de ellos se unen a un carbono para formar dióxido de carbono y cada uno de los otros dos átomos de oxígeno se unen a dos hidrógenos para formar agua.

La reacción química que ocurre la representan de manera simbólica como a continuación se expresa.



Explican que el número “2” (coeficiente) escrito antes de los símbolos del oxígeno y del agua indican cuántas moléculas de estas sustancias o se producen en la reacción química, que estos números son necesarios para que la ecuación química esté balanceada y se cumpla la Ley de la conservación de la materia.

En la página 163 abordan el tema de la energía en las reacciones químicas, explican los procesos exotérmicos y endotérmicos así como algunos ejemplos.

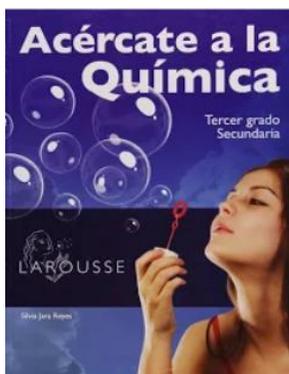
En la página 165 proponen un experimento llamado: Observa, predice y explica: ¿Qué le sucede al papel? En este experimento que debe ser realizado por el profesor, se realiza la combustión del etanol contenido en una mezcla con la mitad de agua. Posteriormente se plantea una serie de preguntas para predecir, observar y explicar lo que sucede al sumergir un papel en dicha mezcla y prenderle fuego.

En el bloque 4 se menciona el cambio químico, pero específicamente de ácidos y bases.

Comentarios:

- Los autores explican de manera sencilla la importancia de los cambios químicos que ocurren cotidianamente.
- Exponen las propiedades de los reactivos y los productos.
- Representan el cambio químico con modelos moleculares (nivel submicroscópico) y mediante la ecuación química (nivel simbólico).
- Analizan la información que proporciona la ecuación química y la Ley de la conservación de la materia.
- Explican que en una reacción química se absorbe o se desprende energía en forma de calor y proponen un experimento atractivo.

Libro 2



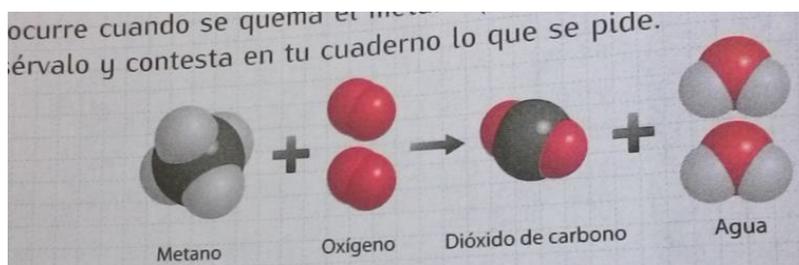
Jara, S. (2014). *Acércate a la Química*. México: Larousse, pp. 144-157.

En este texto, el tema de cambio químico se aborda en el bloque 3 “La transformación de los materiales: la reacción química”.

La autora considera que los aprendizajes que se favorecen son los siguientes:

- Comprensión de fenómenos y procesos naturales desde la perspectiva científica
- Descripción de algunas manifestaciones de cambios químicos sencillos (efervescencia, emisión de luz o calor, precipitación, cambio de color).
- Identificación de las propiedades de los reactivos y los productos en una reacción química.
- Representación del cambio químico mediante la ecuación química.
- Expresión de la Ley de la conservación de la masa.
- Identificación que en una reacción química se absorbe o se desprende calor.

La autora explica la reacción de combustión en la página 148 de la siguiente manera: “El siguiente esquema representa la reacción entre las moléculas de metano y oxígeno; es decir, lo que ocurre cuando se quema el metano (componente principal del gas natural). Obsérvalo y contesta”.



Las preguntas que plantea son las siguientes:

- “¿Qué sustancias reaccionan y cuáles se producen?”
- ¿Cómo representarías esta reacción, utilizando el lenguaje de la química?
- ¿Cuántos átomos de carbono y de oxígeno hay del lado izquierdo de la flecha y cuántos del lado derecho?”

Posteriormente, la autora propone un experimento, pero no hay relación con la combustión.

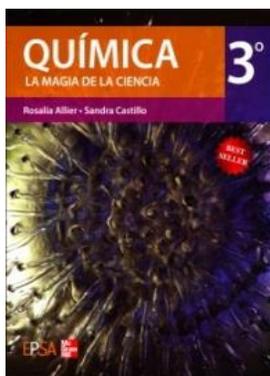
Explica que en una reacción química los cuerpos o sustancias experimentan transformaciones que alteran su composición química y por tanto sus propiedades, dando origen a sustancias nuevas. Las sustancias que *experimentan los cambios reciben el nombre de reactivos y las que se forman se denominan productos.*

Comentarios:

- Aunque la autora pretende que se alcancen muchos aprendizajes esperados, considero que en realidad no se logran porque se queda sólo en el nivel macroscópico.
- Los experimentos que propone, no tienen que ver con la combustión, pero las preguntas que plantea las establece en relación a la reacción de combustión del metano.

Los temas se abordan de manera sencilla.

Libro 3



Allier y Castillo. (2015).
Química la magia de la ciencia.
México: McGraw-Hill, pp. 264-
273.

En este texto, el cambio químico se aborda en el bloque 3 con el título: La transformación de los materiales: la reacción química y en el bloque 4: La formación de nuevos materiales.

Al inicio del bloque, las autoras plantean las siguientes preguntas clave (p. 158):

¿Cómo se realizan las reacciones químicas?

¿Cuántos tipos de reacciones químicas hay?

¿De qué modo se representan los cambios químicos?

¿Qué información nos proporciona una ecuación química? (Allier y Castillo, 2015, p.159).

En la página 160 presentan imágenes sobre los cambios químicos que se realizan mediante un proceso industrial y un proceso natural. Abordan el tema de la siguiente forma:

“Cuando se quema un papel, los materiales combustibles que lo componen reaccionan químicamente formando compuestos gaseosos y residuos sólidos, es decir, se produce una reacción química” (Allier y Castillo, 2015, p.161).

En seguida comentan otro ejemplo de reacción química y utilizan como ejemplo la combustión del carbón (C)

que *“al combinarse con el oxígeno (O_2) que hay en el aire, produce una flama brillante debido a la oxidación del carbón y como producto se obtiene el dióxido de carbono (CO_2), que es un gas”* (Allier y Castillo, 2015, p.161).

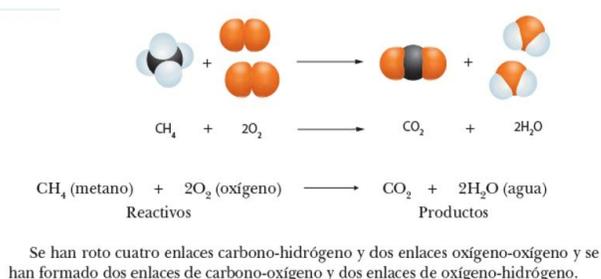
En un apartado llamado: Para saber más explican que las reacciones químicas constituyen un importante grupo de fenómenos, porque a partir de unas sustancias se forman otras nuevas.

En la página 174, con el título: *“Lo que sucede en una reacción química que no vemos”*, emplean el ejemplo de la combustión del metano y explican el fenómeno de la siguiente manera:

“Si se conserva la masa en una reacción química, y la masa de una sustancia es la suma de las masas de los átomos que la forman, el número de los átomos también se ha de conservar, es decir, debe haber el mismo número de átomos en los reactivos que en los productos.

Lo que pasa en las reacciones químicas es que los átomos se organizan de manera que se rompen los enlaces que existen en los reactivos y se forman enlaces nuevos en los productos”. (Allier y Castillo, 2015, p.174).

En seguida presentan una representación a nivel sub-microscópico y simbólico.



174

Bloque 3

En la página 174 del texto, se detalla que “se han roto cuatro enlaces carbono-hidrógeno y dos enlaces oxígeno-oxígeno y se han formado dos enlaces de carbono-oxígeno y dos enlaces de oxígeno-hidrógeno.”

Comentarios:

- Se aborda el tema de manera sencilla y se explican algunas características del cambio químico, así como sus representaciones.
- Las autoras consideran importante que los estudiantes:
- Identifiquen en su entorno algunos cambios químicos cotidianos, así como los reactivos y productos que participan en una reacción química.
- Expliquen enunciados científicos, como el principio de conservación de la materia.
- Representen los cambios químicos de manera simbólica y microscópica.
- Integren habilidades, actitudes y valores al enfatizar la interpretación y aplicación del uso de escalas en forma adecuada en los niveles macroscópico y microscópico.
- Reconozcan que las moléculas presentan arreglos definidos, los cuales determinan las propiedades de la materia.
- Aunque la visión de las autoras es ambiciosa, no mencionan la importancia de la energía de activación en las reacciones químicas.
- Tampoco mencionan las reacciones exotérmicas y endotérmicas ni de la cantidad de energía que se produce.

Tabla 4.2. Libros de texto revisados para inferir el modelo curricular (MCu).

Después de haber realizado la revisión de los libros de texto presento el siguiente análisis: El fenómeno de la combustión es un ejemplo típico en los libros de texto para abordar el tema de cambio químico –por ser un fenómeno cotidiano para el alumnado–, sin embargo, considero que la profundidad con la que se estudia no es suficiente para lograr la comprensión de dicho fenómeno. Conforme se desarrolla el tema de las reacciones químicas, se pretende que los estudiantes avancen en el nivel de sus explicaciones, que representen el cambio químico de manera macroscópica, simbólica y submicroscópica, pero en general no se menciona la energía de activación para iniciar la reacción, ni se menciona la cantidad de energía que la reacción aporta. Yo considero que sí es importante realizar una reflexión sobre el aporte de energía, ya que en eso precisamente radica una de las razones que dan importancia al fenómeno.

De los 10 libros revisados, el texto de Talanquer e Irazoque (2015) es el que me ha parecido aborda el cambio químico de una manera más completa. Los autores tratan el tema del cambio químico con la debida transposición didáctica, manejan un vocabulario accesible y de fácil comprensión para los estudiantes. También desarrollan el tema con mayor profundidad que los otros autores, representan el cambio químico con modelos moleculares y mediante la ecuación química –nivel sub-microscópico y simbólico respectivamente–.

Proponen un experimento atractivo, explican la Ley de la conservación de la materia y también explican que, durante una reacción química, se absorbe o se desprende energía en forma de calor.

Al concluir la revisión de los textos mencionados con anterioridad, se infirió el MCu el cual se presenta en términos de entidades, relaciones y condiciones en la Tabla 4.3 y en la figura 4.5.

	NIVEL MACROSCÓPICO	NIVEL SUBMICROSCÓPIC O	NIVEL SIMBÓLICO
ENTIDADES	Reactivos: Material o sustancia que se quema (combustible) Oxígeno (comburente) Productos: Dióxido de carbono Agua Fuego (Luz y calor)	Reactivos  Metano  Oxígeno Productos  Dióxido de carbono  Agua Energía	Reactivos $\text{CH}_4(\text{g})$ $2\text{O}_2(\text{g})$ \longrightarrow Productos $\text{CO}_2(\text{g})$ $2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ Δ (calor)

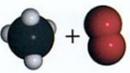
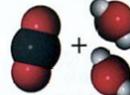
RELACIONES	<p>Acción de la energía de activación sobre los reactivos (ruptura de enlaces).</p> <p>Reacomodo de los átomos (metano y oxígeno).</p> <p>Transformación de reactivos a productos (sustancias iniciales a finales).</p> <p>Desprendimiento de energía en forma de luz y calor</p> <p>Conservación de la materia</p>	<p>Conservación del número de átomos que implica la conservación de la masa.</p> <p>Reactivos</p>  <p>→</p> <p>Productos</p> 	<p>Reactivos</p> <p>$\text{CH}_4 (\text{g}) + 2\text{O}_2 (\text{g})$</p> <p>→</p> <p>Productos</p> <p>$\text{CO}_2 (\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O} (\text{g})$</p>
CONDICIONES	<p>Oxígeno como comburente</p> <p>Chispa, cerillo</p>	 Oxígeno	<p>O_2</p>

Tabla 4.3. Entidades, relaciones y condiciones del MCu.

En la siguiente figura se muestra el MCu expresado en el nivel macroscópico, sub-microscópico y simbólico, inferido a partir de la revisión de los libros de química de tercer grado de secundaria.

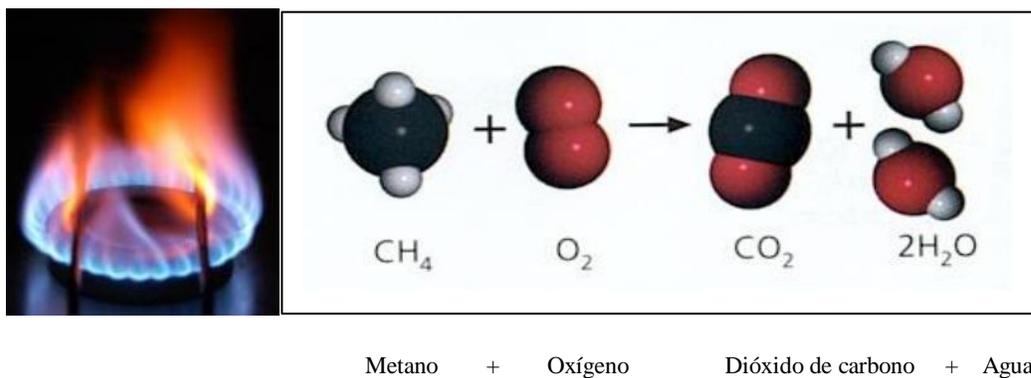


Fig. 4.5. Modelo Curricular de la combustión del metano. Representación macroscópica, sub-microscópica y simbólica.

4.4.3 Modelo científico

De acuerdo con López-Mota y Rodríguez (2013) el MCi es el referente científico en donde se plantean las teorías, leyes y principios con los que se posibilita la explicación del fenómeno en estudio. El MCi se infiere una vez realizada la revisión de libros de texto de nivel superior (universitario) sobre el tema en cuestión.

Para Merino (2011) todos los fenómenos que llegarán a ser Modelos de Cambio Químico, han de compartir las siguientes características:

- Las sustancias se transforman
- Se conservan los elementos
- La masa se conserva
- Las sustancias reaccionan en proporciones fijas
- La energía total del sistema se conserva
- El cambio se puede representar mediante átomos y enlaces
- En el estado final se agota el ‘potencial químico’ disponible y puede ser de equilibrio químico

4.4.3.1 Fenómeno a modelizar

Como ya se mencionó anteriormente, en este trabajo se emplea la reacción de combustión como ejemplo para modelizar el cambio químico. El interés por emplear este ejemplo es precisamente por la cantidad de energía que a partir de dicha reacción se genera y que resulta útil en una importante cantidad de procesos en la vida cotidiana.

En seguida se describen las principales características de la reacción de combustión y de manera particular la combustión del metano. Se eligió el metano por ser el más sencillo de los hidrocarburos utilizados como combustibles, lo cual considero facilita la comprensión del fenómeno por parte de los estudiantes y permite comprender las generalidades del cambio químico.

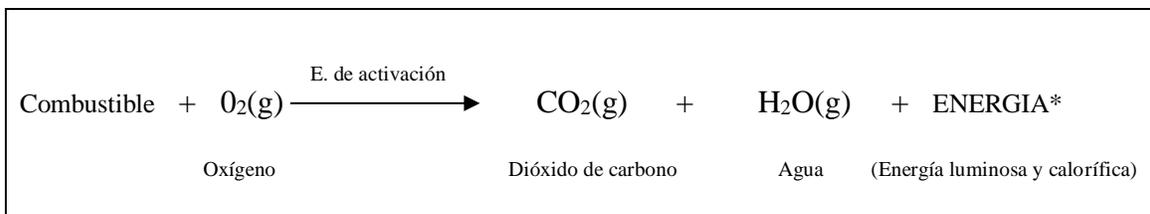
De acuerdo con varios autores (Choppin, 1971; Perry y Chilton, 1986; Miranda y Pujol, 1996; Atkins, 1998 y Morrison y Boyd, 1998) la combustión –quemarse en el aire– es una reacción de oxidación rápida, en la que los materiales combustibles –que generalmente contienen carbono– reaccionan con el oxígeno del aire²⁶ para formar dióxido de carbono²⁷ y vapor de agua. Es una reacción en cadena²⁸, se requiere de una elevada temperatura –como la que

²⁶ Existe una reacción en la que el combustible es la glicerina y la fuente de oxígeno la proporciona el permanganato de potasio (Atkins, 1998).

²⁷ En una combustión incompleta se produce monóxido de carbono (CO), además del dióxido de carbono (CO₂) (Morrison y Boyd, 1998).

²⁸ La reacción en cadena es una reacción que comprende varios pasos, cada uno de los cuales genera una sustancia reactiva que condiciona o provoca el paso siguiente (Morrison y Boyd, 1998).

proporciona una flama o una chispa²⁹– para romper los enlaces covalentes sp^3 carbono-hidrógeno. Este enlace se encuentra entre los más fuertes de los hidrocarburos, por ello se requiere de una importante cantidad de energía para iniciar el proceso. En la combustión la entalpía de los productos es menor que la de los materiales iniciales o reactivos, por lo tanto, el ΔH° es un número negativo y la reacción es exotérmica³⁰, es decir libera una determinada cantidad de energía que se manifiesta en forma de luz y calor como se observa en la siguiente ecuación general de la combustión³¹.



* El signo + en la energía, no implica que se trate de una sustancia, sino que se genera o desprende durante la reacción.

En el siguiente apartado se abordan con mayor profundidad los temas necesarios para explicar el fenómeno de la combustión y para inferir el Modelo Científico.

4.4.3.2 Inferencia del Modelo Científico

Para inferir el Modelo Científico, se revisaron 5 textos universitarios. En la tabla 4.4 se presenta un breve análisis del contenido de tres de ellos que se relaciona con el tema de las reacciones químicas, específicamente de la combustión del metano. Después de la tabla, presento los contenidos con mayor profundidad, para tener los elementos necesarios que me permitan inferir el modelo mencionado. Seleccioné tales textos, porque son de los más utilizados en el nivel universitario.

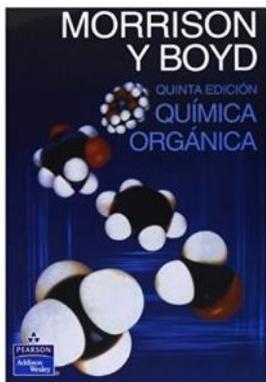
²⁹ Ésta es la llamada energía de activación, la cual provoca que las moléculas de metano y oxígeno colisionen con suficiente fuerza para iniciar la reacción (Atkins, 1998).

³⁰ La respiración es también un ejemplo de reacción de oxidación, pero esta ocurre de forma muy lenta, por lo que se produce dióxido de carbono, vapor de agua y energía calorífica, pero no se genera energía luminosa (Atkins, 1998).

³¹ A lo largo de este capítulo aparece nuevamente esta ecuación química que representa a la combustión del metano en el nivel simbólico, lo cual es necesario para argumentar la explicación del tema en cuestión.

AUTOR, AÑO Y CONTENIDO

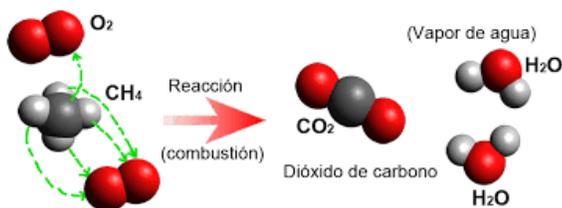
Libro 1



Morrison y Boyd. (1998).
Química orgánica. New York:
Addison-Wesley Iberoamericana.

Contenido relacionado con la combustión del metano: En el capítulo 2, los autores presentan al metano como el principal ejemplo de los hidrocarburos, así como los siguientes aspectos:

- Estructura (hibridación de los enlaces del carbono)
- Propiedades físicas del metano
- Las reacciones químicas del metano
- Oxidación y calor de combustión
- Mecanismos de reacción
- Reacciones en cadena
- Calor de reacción
- Energía de activación
- Estado de transición



Comentarios:

En este texto, los autores explican las propiedades del metano, así como sus reacciones más comunes. Fundamentan cómo se forman los enlaces sp^3 entre el átomo de carbono y los cuatro átomos de hidrógeno, así como el hecho de que se necesita mucha energía de activación para romperlos. Morrison y Boyd (1998), sostienen que el mecanismo de reacción de la combustión no está completamente dilucidado, pero dan una idea de cómo se lleva a cabo tomando como ejemplo la reacción de cloración del metano. Por otra parte,

explican muy detalladamente y de forma que resulta fácil de comprender, la transición gradual de reactivos a productos.

Desde mi punto de vista, este texto aborda con mayor profundidad el tema de la combustión como ejemplo del cambio químico. Presenta datos, teorías, leyes, mecanismos de reacción, tipo de enlace de cada compuesto, explica ampliamente las reacciones exotérmicas y endotérmicas, así como las reacciones de oxidación y reducción.

Como mencioné anteriormente, cada uno de los temas se abordan con mayor amplitud después de esta tabla.

Libro 2



Atkins y Jones. (2009).
Principios de
Química. Madrid:
Médica Panamericana.

Contenidos:

- Reacciones químicas
- Ecuaciones químicas
- Ecuación termoquímica para la combustión del butano.
- Entalpía de formación de reactivos y productos
- Entalpía de formación estándar
- Entalpía de reacción: Ley de Hess
- Calor absorbido o calor liberado en una reacción química
- Combustibles alternativos (alcohol)

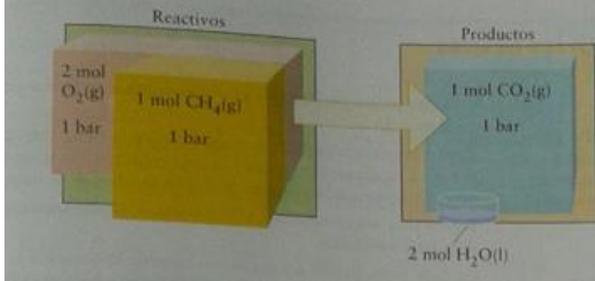


FIGURA 6.29 La entalpía de reacción estándar es la diferencia de entalpía entre los productos puros y los reactivos puros, cada uno a 1 bar y la temperatura especificada (que suele ser 298 K, pero puede ser otra). El esquema que figura aquí ilustra la combustión del gas metano al gas dióxido de carbono y agua líquida

Por consiguiente, la entalpía de formación estándar del diamante se informa como $\Delta H_f^\circ(\text{C, diamante}) = +1,9 \text{ kJ mol}^{-1}$. Este valor implica que, a presión constante, deben proporcionarse $1,9 \text{ kJ}$ de energía por mol de átomos de C en forma de calor para cambiar el ordenamiento de los enlaces en el grafito en el ordenamiento de los enlaces en el diamante.

Cuando un compuesto no puede sintetizarse directamente a partir de sus elementos (o la reacción es demasiado difícil para estudiar), su entalpía de formación puede hallarse a partir de su entalpía de combustión (véase ejemplo 6.10). Algunos valores se mencionan en el cuadro 6.3 y en el apéndice 2A.

Ahora vamos a combinar las entalpías de formación estándar para calcular una entalpía de reacción estándar. Primero, se calcula la entalpía de reacción para la formación de todos los productos a partir de sus elementos. Para este paso, se utilizan las entalpías de formación de los productos. Luego, se calcula la entalpía de reacción para la formación de todos los reactivos a partir de sus elementos. La diferencia entre estos dos totales es la entalpía estándar de la reacción (fig. 6.31).

$$\Delta H_r^\circ = \sum \Delta H_f^\circ(\text{productos}) - \sum \Delta H_f^\circ(\text{reactivos}) \quad (22)$$

En esta expresión, los \pm son los coeficientes estequiométricos en la ecuación química y el símbolo Σ (sigma) significa una suma. La primera suma es la entalpía total de formación

FIGURA 6.31 La entalpía de reacción puede calcularse de las entalpías de formación imaginando la formación de reactivos y productos a partir de sus elementos. Entonces la entalpía de reacción es la diferencia entre las entalpías de productos y de reactivos.

EJEMPLO 6.10 Utilización de la entalpía de combustión para calcular la entalpía de formación

Utilizar la información del cuadro 6.3 y la entalpía de combustión del gas propano para calcular la entalpía de formación del propano, un gas utilizado con frecuencia para la calefacción de viviendas y los barbaquitos al aire libre.

ESTRATEGIA Utilizar la ecuación (22) y el procedimiento expuesto en el ejemplo 6.9, pero sustituyendo para la entalpía de formación estándar del propano.

SOLUCIÓN

Paso 1. Escribir la ecuación reequilibrada para la combustión de 1 mol de C_3H_8 .

$$\text{C}_3\text{H}_8(\text{g}) + 5 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 3 \text{CO}_2(\text{g}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H_r^\circ = -2220 \text{ kJ}$$

Paso 2. Hallar la entalpía total de formación de los productos.

$$\Delta H_f^\circ(\text{productos}) = 1 \Delta H_f^\circ(\text{CO}_2, \text{g}) + 4 \Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{l})$$

$$= 1(-393,51 \text{ kJ mol}^{-1}) + 4(-285,83 \text{ kJ mol}^{-1})$$

$$= -1183,53 - 1143,32 \text{ kJ mol}^{-1} = -2326,85 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Paso 3. Hallar la entalpía total de formación de los reactivos.

$$\Delta H_f^\circ(\text{reactivos}) = \Delta H_f^\circ(\text{C}_3\text{H}_8, \text{g}) + 5 \Delta H_f^\circ(\text{O}_2, \text{g})$$

$$= \Delta H_f^\circ(\text{C}_3\text{H}_8, \text{g}) + 5(0) = \Delta H_f^\circ(\text{C}_3\text{H}_8, \text{g})$$

Paso 4. La diferencia entre los dos totales es igual a la entalpía estándar de la reacción.

$$-2326,85 \text{ kJ mol}^{-1} = \Delta H_f^\circ(\text{C}_3\text{H}_8, \text{g}) + (-2220 \text{ kJ mol}^{-1})$$

Paso 5. Resolver para $\Delta H_f^\circ(\text{C}_3\text{H}_8, \text{g})$.

$$\Delta H_f^\circ(\text{C}_3\text{H}_8, \text{g}) = -2326,85 - (-2220) \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$= -106,85 \text{ kJ mol}^{-1}$$

En las fotografías presentadas, se encuentran contenidos como la Entalpía y la Ley de Hess y el cálculo del calor de combustión. Fuente: Atkins y Jones, (2009, pp. 225,231 y 232).

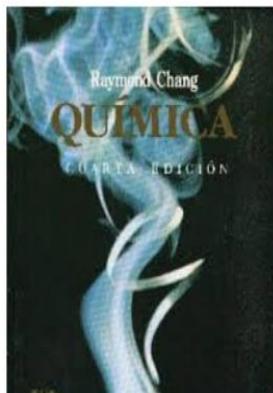
Los contenidos científicos se explicarán más adelante y con mayor profundidad después de esta tabla

Comentarios:

Los autores de este libro explican con claridad los siguientes temas:

- La importancia del metano, abundancia en la naturaleza y para qué se utiliza, entre otras características.
- Las entalpías de formación de los reactivos y los productos de la reacción de combustión del metano, el butano y el propano.
- La relación del cambio de entalpía y del cambio de energía interna en una reacción química.
- Calculan el calor de combustión del metano.
- La forma en que se preparan los combustibles para los cohetes y los aspectos que se deben tomar en cuenta para garantizar su buen funcionamiento.
- La combinación de entalpías de reacción: La Ley de Hess.
- El rendimiento del calor en las reacciones químicas.
- Los combustibles alternativos
-

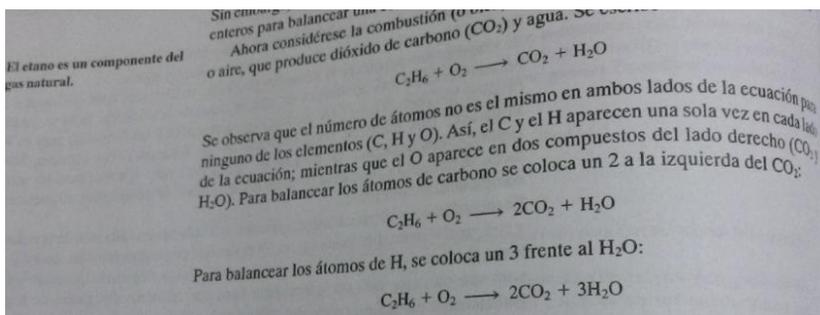
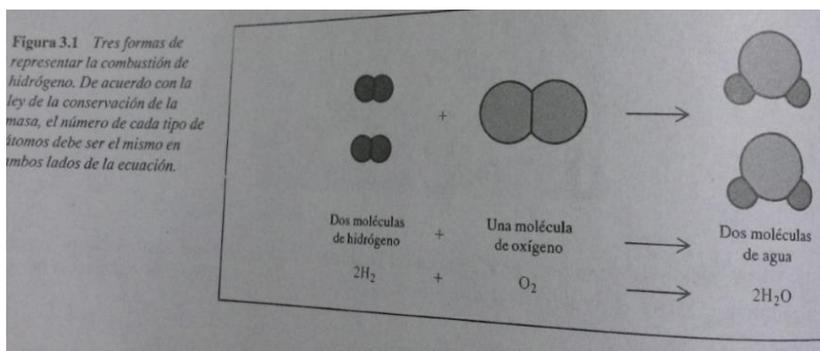
Libro 3



Chang, R. (1999). *Química*. México: Mc Graw Hill.

Contenido:

- Ecuaciones químicas
- Escritura de ecuaciones químicas
- Balanceo de ecuaciones químicas
- Cantidades de reactivos y productos
- Reacciones de oxidación-reducción
- Reacciones ácido-base
- Reactivo limitante
- Rendimiento de las reacciones



Fuente: Chang (1999, pp.92-93).

En las fotografías se observa el modelo sub-microscópico que maneja este autor, así como el modelo simbólico representado con la ecuación química.

La reacción química que emplea es la combustión del etano (C_2H_6), componente del gas natural.

Explica cómo se realiza el balanceo de la ecuación para demostrar la Ley de la conservación de la materia.

Comentarios:

- El autor define el término reacción química o cambio químico.
- Expresa qué significa cada uno de los componentes de la ecuación química.
- Presenta la reacción de combustión del hidrógeno y la expresa de acuerdo a la conservación de la masa en donde explica que el número de cada tipo de átomos debe ser el mismo en ambos lados de la ecuación.

Tabla 4.4 Libros revisados para inferir el MCi.

Al terminar la revisión de los libros de texto universitarios, puedo decir que todos ellos abarcan el tema de cambio químico con amplia profundidad y lo explican en los tres niveles de representación (Johnstone, 1988), mencionan la importancia de las reacciones exotérmicas y endotérmicas, $-\Delta H^\circ$ negativo o positivo respectivamente— expresan las características de los reactivos y los productos en las reacciones químicas, explican la función del oxígeno como comburente, presentan diagramas de entalpía en donde se muestra la energía contenida tanto en los reactivos como en los productos, calculan la cantidad de energía producida por cada molécula de metano que se quema, analizan la importancia de la energía de activación y explican de forma detallada la Ley de la conservación de la materia.

A continuación, presento la información obtenida de la revisión de los textos de nivel universitario que me ha sido de utilidad para inferir el Modelo Científico

4.4.3.2.1 La entalpía en las reacciones químicas

Kind (2004) sostiene que las reacciones químicas implican uno o varios reactivos que se transforman en determinados productos e involucran siempre una cantidad de energía que en ocasiones se genera o en otras es necesario suministrarla para que estas sucedan.

Morrison y Boyd (1998, p.50) consideran que “*es también importante considerar los cambios energéticos involucrados en una reacción, ya que determinan en gran medida su velocidad y si realmente se va a realizar*”. Dichos autores explican que las reacciones químicas van acompañadas en unos casos de un desprendimiento de energía y en otros de una absorción de la misma. En el primer caso se denominan reacciones exotérmicas y en el segundo reacciones endotérmicas; así, las reacciones implican un intercambio de energía con su

medio. La energía de cualquier sustancia química está formada por la suma de su energía cinética y su energía potencial, localizadas en sus partículas constituyentes: átomos, electrones y partículas subatómicas. Por lo tanto, se puede afirmar que tanto los reactivos como los productos poseen una determinada cantidad de energía propia también llamada energía interna, pero que en general es diferente para cada sustancia en particular.

La energía desprendida o absorbida en una reacción química habitualmente se manifiesta en forma de calor y se le llama *calor de reacción*. El calor de reacción (ΔH°) representa la diferencia entre la energía que poseen los enlaces de los reactivos y la energía que poseen los enlaces de los productos. Cada reacción química tiene un calor de reacción específico el cual se representa con ΔH° .

Por convenio: $\Delta H^\circ = H^\circ_{\text{productos}} - H^\circ_{\text{reactivos}}$

Donde H° es el contenido de calor, o **entalpía** de un compuesto en su estado estándar, -gas, líquido puro o sólido cristalino- a una presión de una atmósfera (1atm) y 25 °C.

De acuerdo con Morrison y Boyd (1998), la entalpía está relacionada con la energía liberada o absorbida durante la ruptura y formación de enlaces. Si la energía de reacción tiene un valor negativo de ΔH° , implica que es una reacción exotérmica, -cede calor al entorno-, por lo tanto, la energía liberada al formar enlaces es mayor que la requerida para romperlos. En el caso contrario, si la energía de reacción tiene un valor positivo de ΔH° , la reacción es endotérmica, es decir que consume calor del entorno, y que la energía liberada al formar enlaces es menor que la requerida para romperlos.

Es posible determinar la entalpía almacenada en cada uno de los reactivos y los productos³² de la reacción química y graficar el progreso de dicha reacción tal como se muestra en la figura 4.6.

³² Los reactivos son las sustancias que participan en la reacción química y que dan origen a otra u otras sustancias. Los productos son las sustancias resultantes una vez que ocurre el cambio químico.

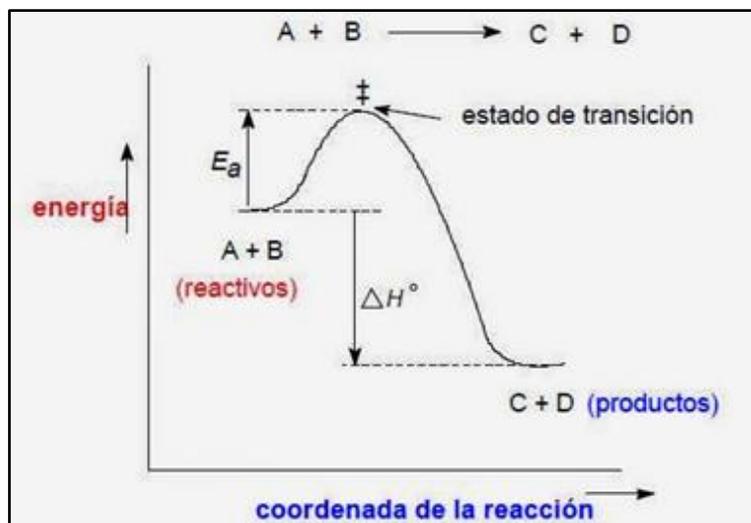


Fig. 4.6. Diagrama de la energía potencial para una reacción exotérmica. Adaptado de Morrison y Boyd (1998, p.66).

En la gráfica de la figura 4.6, en el eje horizontal se grafica la coordenada de reacción, la cual simboliza el progreso de la reacción que va desde los reactivos (A y B) en la izquierda, hacia los productos (C y D) en la derecha. En el eje vertical se representa la energía implicada para cada una de las especies o sustancias que participan en la reacción. El ΔH° tiene un valor negativo por lo que la reacción es exotérmica, es decir desprende calor.

4.4.3.2 Estado de transición

Morrison y Boyd (1998, p.65), explican que “una reacción química es un proceso continuo que implica una transición gradual de reactivos a productos. Sin embargo, ha resultado útil considerar la disposición de los átomos en una etapa intermedia de la reacción, como si se tratara de una molécula real. Esta estructura intermedia se denomina estado de transición; su contenido de energía corresponde al máximo de la curva de energía”. En la figura 4.6, el estado de transición se representa con el símbolo (\ddagger) e implica que esta configuración es el tránsito entre los reactivos y los productos, en donde las moléculas pueden ir hacia los productos o regresar hacia los reactivos.

Para Kind (2004) en el estado de transición, los enlaces entre los átomos que constituyen los reactivos se rompen, para dar la posibilidad de que los átomos se reacomoden y se puedan formar nuevos enlaces, lo que origina una o más sustancias diferentes a las iniciales. Con frecuencia los cambios químicos van acompañados por alteraciones en la apariencia física, la producción de gas, luz, calor o enfriamiento.

De acuerdo con Química Orgánica Biológica (2014) el estado de transición es inestable, no se puede aislar y tiene alta energía porque en cuanto los enlaces de los reactivos comienzan a romperse, de inmediato se reorganizan y empiezan a formarse los productos.

4.4.3.2.3 Energía de activación

Morrison y Boyd (1998, p.51) mencionan que para que una reacción química pueda llevarse a cabo, *“en primer lugar, los átomos de las sustancias participantes deben entrar en contacto íntimo, es decir deben colisionar entre sí. Para que una colisión sea efectiva se debe suministrar cierta cantidad mínima de energía.*

La energía mínima que debe proporcionar una colisión para que se produzca reacción se llama energía de activación (E_{act}), cuya fuente es la energía cinética de las partículas en movimiento. La mayoría de los impactos proporcionan menos que este mínimo, por lo que no prosperan y las partículas originales simplemente rebotan. Solo las colisiones violentas entre partículas, de las cuales una o ambas se mueven con velocidad desusada, son suficientemente energéticas como para permitir la reacción. Por último, además de ser suficientemente energéticas, los choques deben producirse entre partículas orientadas en forma correcta. En el instante de la colisión, la molécula de metano debe tener una orientación tal que presente un átomo de hidrógeno a la fuerza plena del impacto.

En general, una reacción química requiere colisiones de energía suficiente y de orientación apropiada. Existe una energía de activación (E_{act}) para casi toda reacción que implica ruptura de enlaces, incluso para reacciones exotérmicas, en las que la formación de enlaces libera más energía que la consumida en la ruptura”.

Para Química Orgánica Biológica (2014), la energía de activación (E_a) es la energía mínima que deben poseer las moléculas de los reactivos para vencer las repulsiones entre sus nubes electrónicas cuando colisionan entre sí y sus enlaces se rompen. De esta manera quedan “activadas” dando lugar al estado de transición en donde están listas para reaccionar y formar nuevos productos. La E_a representa la diferencia de energía entre los reactivos y el estado de transición, que como ya se mencionó con anterioridad, es el estado de mayor energía en el curso de la reacción.

4.4.3.2.4 Conservación de la materia

Para Garritz (1998, p.31) *“durante un fenómeno químico se producen nuevas sustancias ya sea en una forma parcial o total, pero al final se obtiene la misma cantidad de materia elemental que al inicio”.*

Kind (2004) explica que los cambios químicos se llevan a cabo en forma estequiométrica, es decir que la cantidad de átomos que participan como reactivos es la misma que se obtiene en los productos –cumpliéndose con ello la ley de la conservación de la materia de Lavoisier–.

Raviolo, Garritz y Sosa (2011) argumentan que para comprender un tipo de transformación no sólo se debe reconocer qué cambia, sino también qué se mantiene o conserva. En el cambio químico, las sustancias son las que cambian y lo que se conserva son los tipos de átomos o elementos que participan en las mismas.

4.4.3.2.5 Reacción en cadena

Morrison y Boyd (1998, p.49), sostienen que una reacción en cadena “es una reacción que comprende varios pasos, cada uno de los cuales genera una sustancia reactiva que genera el paso siguiente –como se observa en el mecanismo de reacción propuesto para la combustión del metano en el apartado 4.4.3.2.8–.

*El primero de la cadena de reacciones es el paso **iniciador**, durante el cual se absorbe energía y se genera una partícula reactiva”.*

*“Hay uno o más pasos **propagadores**, cada uno de los cuales consume una partícula reactiva y genera otra”.*

*“Por último, tenemos los pasos **finalizadores**, en los que se consumen partículas reactivas, pero no se generan otras”.*

4.4.3.2.6 El metano

Morrison y Boyd (1998, p.39) abordan el tema de los hidrocarburos y explican que algunos compuestos orgánicos “solo están formados por dos elementos: hidrógeno y carbono”, por lo que se les conoce como hidrocarburos. Dichos compuestos, se dividen en dos clases principales: alifáticos y aromáticos. “Los compuestos alifáticos se subdividen a su vez en familias: alcanos, alquenos, alquinos y sus análogos cíclicos. El miembro más simple de la familia de los alcanos, y de hecho uno de los compuestos orgánicos más simples, es el metano, CH_4 ”.

Morrison y Boyd (1998, p.40), también explican que en la molécula de metano “cada uno de los cuatro átomos de hidrógeno está unido al carbono por un enlace covalente, es decir, compartiendo un par de electrones” formando una estructura tetraédrica con enlaces sp^3 . La estructura del tetraedro posibilita que los orbitales de la molécula de metano estén separados al máximo, lo cual permite que los enlaces sean más fuertes. Ver figura 4.7.

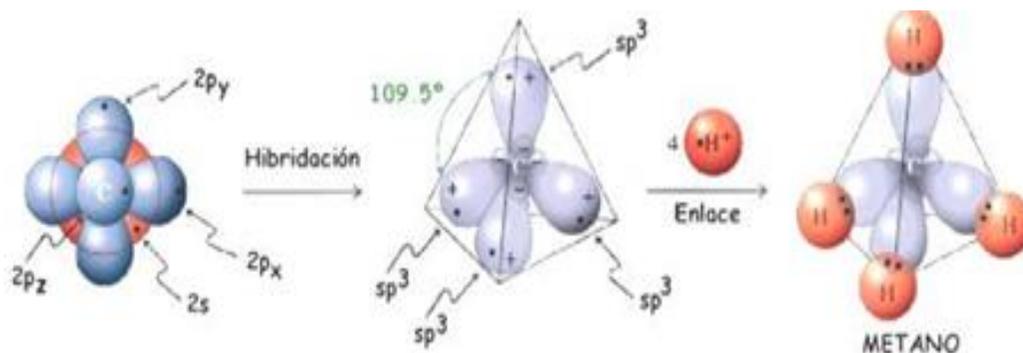


Fig. 4.7. Molécula de metano, Orbitales sp^3 tetraédricos y núcleos de hidrógeno ubicados para solapamiento máximo.

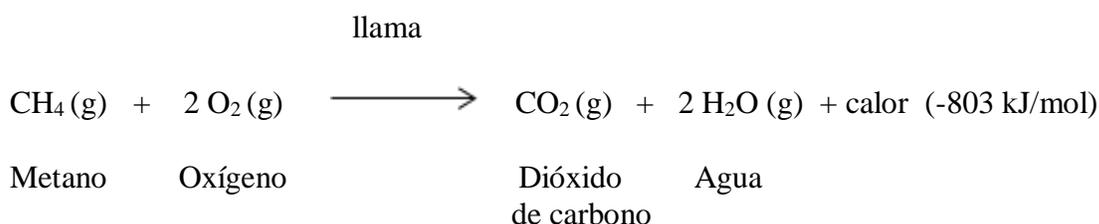
En relación a las propiedades físicas, Morrison y Boyd (1998, p.41), expresan que se trata de una molécula no polar, que a temperatura ambiente se encuentra en forma de gas incoloro,

“apenas soluble en agua, pero muy soluble en líquidos orgánicos, como gasolina, éter y alcohol”.

Acerca de las reacciones del metano, Morrison y Boyd (1998) explican que por lo general “sólo reacciona con sustancias muy reactivas o en condiciones muy vigorosas”, una de estas reacciones es la oxidación. En el siguiente apartado se explica la reacción de oxidación del metano.

4.4.3.2.7 Reacción de oxidación por el oxígeno: Combustión

Morrison y Boyd (1998, p.42) “En esta reacción química, se produce energía (calor) con tal rapidez que hay formación de flama. El metano reacciona con el oxígeno según la siguiente ecuación balanceada”



“La combustión a dióxido de carbono y agua es característica de los compuestos orgánicos y en este caso, el producto importante no es el dióxido de carbono ni el agua, sino el calor. La combustión de hidrocarburos sólo se efectúa a temperaturas elevadas, como las que proporcionan una flama o una chispa. Sin embargo, una vez iniciada, la reacción se desprende calor, que a menudo es suficiente para mantener la alta temperatura y permitir que la combustión continúe. La cantidad de calor que se genera al quemar un mol de un hidrocarburo a dióxido de carbono y agua se llama calor de combustión: para el metano es 213 kcal/mol, lo que es equivalente a 803 kJ/mol”.

4.4.3.2.8 Mecanismo de reacción

En lo relacionado con el mecanismo de la reacción, Morrison y Boyd (1998, p.42) abordan el tema en la página 46 de la manera siguiente:

“No sólo es importante saber qué sucede en una reacción química, sino también cómo sucede, es decir, conocer no solo los hechos, sino también la teoría. Saber cómo se forma una molécula de dióxido de carbono y dos moléculas de agua a partir de una de metano y dos de oxígeno; implica más de un paso. Y en ese caso, ¿Cuáles son los pasos? ¿Cuál es la función del calor?”

La respuesta a tales preguntas, es decir, la descripción detallada, paso a paso, de una

reacción química se denomina mecanismo. El cual es solamente una hipótesis propuesta para explicar los hechos. Sería difícil sostener que alguna vez haya sido demostrado un mecanismo. Sin embargo, si explica satisfactoriamente una amplia gama de hechos, si no permite hacer predicciones que luego se cumplen, si es consistente con mecanismos para otras reacciones relacionadas, entonces se dice que tal mecanismo está bien fundado y pasa a formar parte de la teoría de la química orgánica.

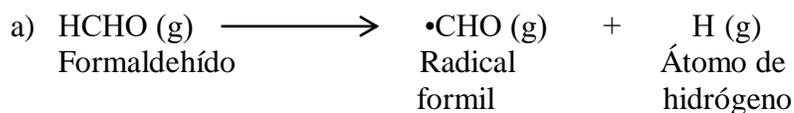
Ahora bien: ¿Por qué nos interesan los mecanismos de las reacciones? Porque contribuyen a erigir el marco dentro del cual colocamos los hechos que observamos y sabiendo cómo tiene lugar una reacción, podemos modificar las condiciones experimentales —no por tanteo, sino lógicamente— para que mejore el rendimiento del producto que nos interesa o para cambiar por completo el curso de la reacción y obtener un resultado diferente. A medida que aumenta nuestro conocimiento de las reacciones, también aumenta nuestra capacidad para controlarlas”.

Morrison y Boyd (1998) explican que, para que la combustión del metano pueda llevarse a cabo, es necesario romper los cuatro enlaces sp^3 carbono- hidrógeno y los dos dobles enlaces oxígeno-oxígeno; para formar dos dobles enlaces carbono-oxígeno en el dióxido de carbono y cuatro enlaces oxígeno-hidrógeno en las 2 moléculas de agua. El mecanismo de cómo ocurre la reacción, en realidad no está completamente dilucidado, a continuación, se explican de manera simplificada cada uno de los pasos que caracterizan esta reacción en cadena³³.

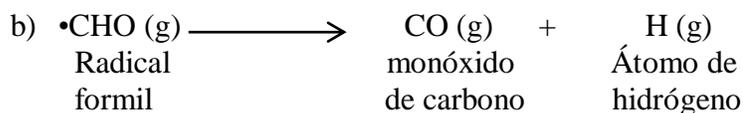
Paso 1. El metano reacciona con el oxígeno para formar formaldehído y un átomo de oxígeno.



Paso 2. El formaldehído se descompone en el radical formil y se produce un átomo de hidrógeno como se observa en el inciso (a).

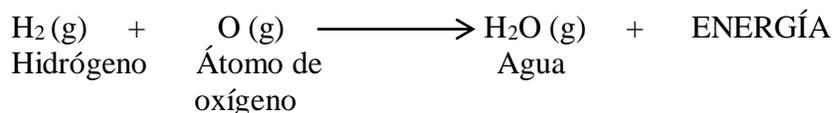


Acto seguido, se genera monóxido de carbono e hidrógeno como se observa en el siguiente inciso.

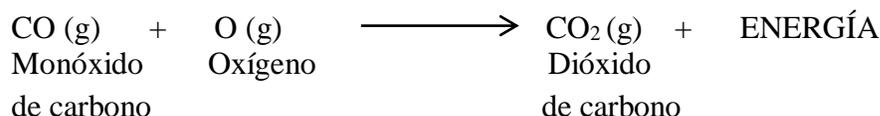


Paso 3. El hidrógeno se oxida para formar agua —esta parte del proceso es muy rápida, su duración es inferior a un milisegundo y desprende una gran cantidad de calor—.

³³ Consultado en http://organica1.org/qo1/MO-CAP2.htm#_Toc476376065 y en <http://emiindustrial2010-quimicaiemi.blogspot.com/2010/08/>



Paso 4. Finalmente, el monóxido de carbono se oxida en unos cuantos milisegundos para formar dióxido de carbono y liberar otra importante cantidad de calor.



El desprendimiento de calor es debido a que la entalpía de los productos es menor que la entalpía de los reactivos y por lo tanto el ΔH° es negativo³⁴. En el siguiente apartado se presentarán los cálculos matemáticos que sustentan lo anteriormente mencionado.

4.4.3.2.9 Calor de combustión del metano

Para Atkins y Jones (2009, p.232) “*La combustión es una reacción en cadena de radicales libres. Para que se inicie, es necesaria la llamada energía de activación, que requiere una temperatura muy elevada, como la de una llama. Esta energía es necesaria para romper los enlaces sp^3 del metano y originar los radicales libres que son las partículas reactivas iniciales. La reacción de combustión es una reacción de óxido-reducción y se usa para proporcionar calor o electricidad en los hogares o negocios, o bien, energía para el transporte*”.

De acuerdo con Moore (1986) el calor de combustión de una sustancia combustible se refiere a la cantidad de calor de reacción que se obtiene al quemar un mol de dicha sustancia en presencia de oxígeno molecular, a 25°C y 1 atmósfera de presión. Durante la combustión se desprende una cantidad de calor, la cual tiene que ver con las características físicas y químicas del combustible en cuestión, por lo que cada sustancia posee un determinado valor de calor de combustión al que se le denomina calor específico de combustión.

A continuación, se presenta el procedimiento para calcular el calor de combustión del metano.

Primero que nada y de acuerdo con Moore (1986), es conveniente tomar en cuenta lo que nos dice la ley de Hess, propuesta por Germain Henri Hess en 1840. Esta ley establece que cuando una serie de reactivos reaccionan para dar una determinada cantidad de productos, el calor

³⁴ Consultado en <http://www.quimicafisica.com/termoquimica-problema-entalpia-de-combustion-del-metano.html> fecha de consulta: 25 de marzo de 2017.

de reacción liberado o absorbido es independiente de si la reacción se lleva a cabo en una, dos o más etapas, por lo tanto, los cambios de entalpía son aditivos: $\Delta H_{\text{neta}} = \sum \Delta H_r$.

Por otra parte, también es importante contar con los valores de la entalpía de formación (ΔH_f°) tanto de los reactivos como de los productos de la reacción. Para ello existen tablas que nos proporcionan dichos datos.

Los valores de entalpía de formación tanto para los reactivos como para los productos son los siguientes:

$$\Delta H_f^\circ \text{CO}_2(\text{g}) = -394 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ \text{H}_2\text{O} = -242 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ \text{CH}_4 = -75 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ \text{O}_2 = 0 \text{ kJ/mol}$$

Como se ha mencionado con anterioridad, por convenio:

$$\Delta H^\circ = H^\circ_{\text{productos}} - H^\circ_{\text{reactivos}}$$

Al sustituir los valores de entalpía de formación en la ecuación se tiene:

$$\Delta H^\circ_{\text{reacción}} = \Delta H_f^\circ \text{CO}_2 + 2\Delta H_f^\circ \text{H}_2\text{O} - \Delta H_f^\circ \text{CH}_4 - 2\Delta H_f^\circ \text{O}_2$$

$$\Delta H^\circ_{\text{reacción}} = -394 + 2(-242) - (-75) - 2(0)$$

$$\Delta H^\circ_{\text{reacción}} = -803 \text{ kJ/mol}$$

Este resultado nos indica que por cada mol de metano que se queme se obtienen 803 kJ de energía. Observar la figura 4.8.

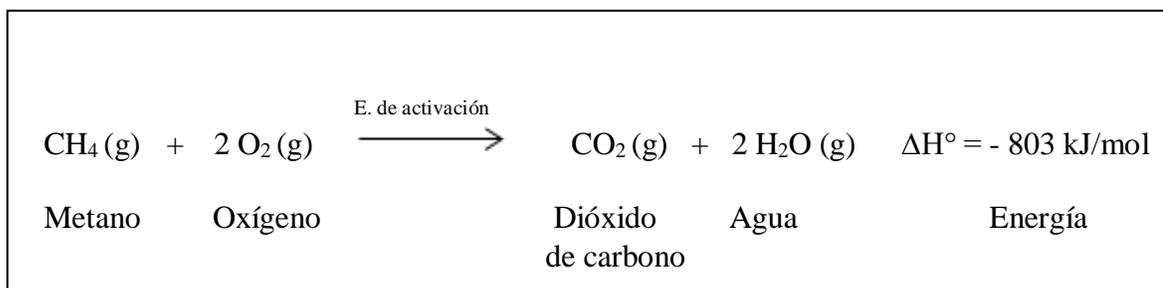


Fig. 4.8. Calor de combustión del metano (representación en el nivel simbólico).

Aunque el metano es el más sencillo de los hidrocarburos, al dividir su calor de combustión entre su masa molecular (16 g/mol) se encuentra que produce más cantidad de calor por unidad de masa que otros hidrocarburos más complejos.

De acuerdo con Atkins y Jones (2009), los diagramas de entalpía de reacción son gráficos que permiten mostrar de forma visual la variación de entalpía tanto de los reactivos como de los productos en una reacción química. En las figuras 4.9 y 4.10 se muestran los diagramas de la entalpía de reacción del metano en el nivel submicroscópico y simbólico respectivamente.

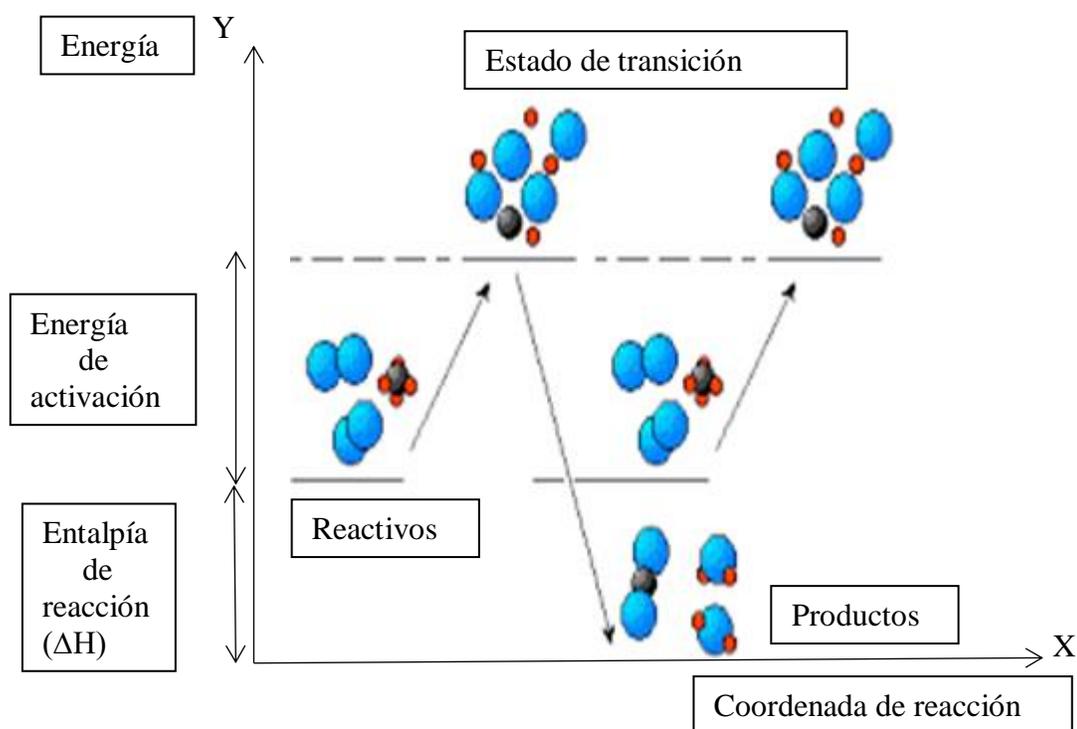


Fig. 4.9. Diagrama de la entalpía de combustión del metano. Representación a nivel sub-microscópico.

En el eje horizontal (X), se grafica la coordenada de reacción la cual simboliza el progreso de la reacción, que va desde los reactivos, en la izquierda, hacia los productos en la derecha. En el eje vertical (Y), se representa la energía implicada para cada una de las sustancias que participan en la reacción.

En la reacción de combustión del metano, la energía de activación, es la mínima cantidad de energía que se requiere aportar al sistema para provocar que las moléculas de metano y oxígeno colisionen entre sí, de tal forma que dichas colisiones ocasionen la ruptura tanto de los enlaces entre el átomo de carbono-hidrógeno, como de los enlaces oxígeno-oxígeno para que la reacción inicie.

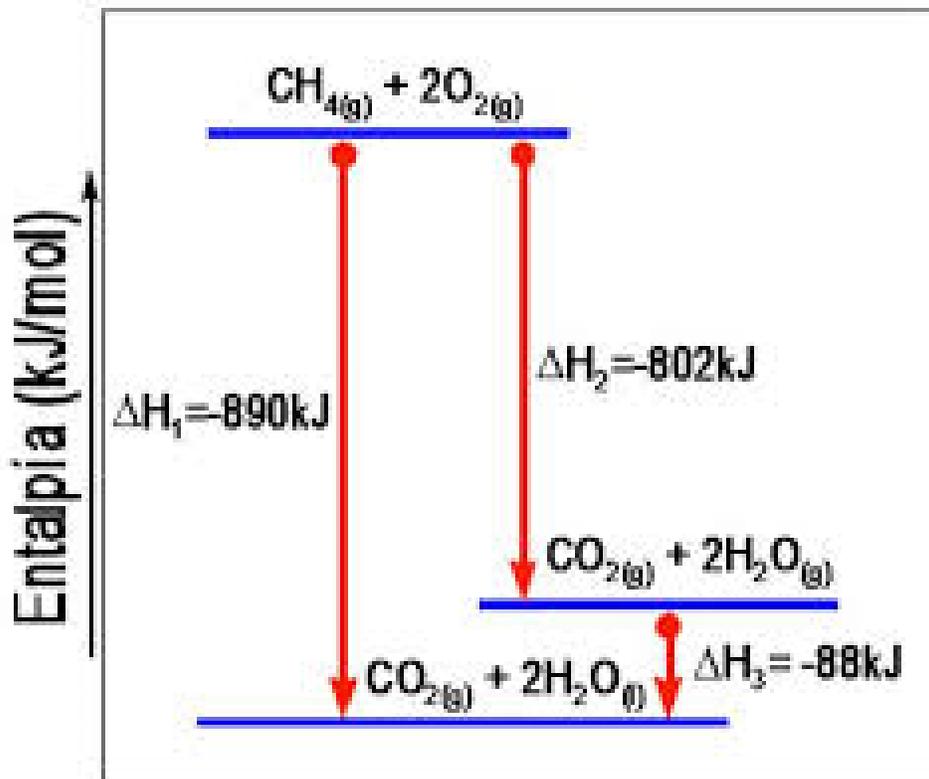


Fig. 4.10. Diagrama de la entalpía de combustión del metano en el nivel simbólico.

Como se observa en ambas figuras, la entalpía de los productos es menor que la entalpía de los reactivos, lo que justifica que el ΔH° tenga un valor negativo y por lo tanto sea una reacción exotérmica.

4.4.4 Representación del Modelo Científico

Con la información obtenida a partir de la revisión de los textos científicos es posible ahora inferir y representar el Modelo Científico en términos de entidades, relaciones y condiciones tanto en el nivel macroscópico como sub-microscópico y simbólico. Ver tabla 4.5.

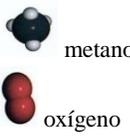
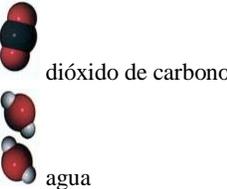
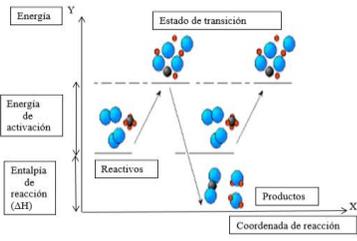
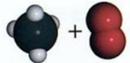
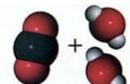
COMPONENTE	NIVEL MACROSCÓPICO	NIVEL SUBMICROSCÓPICO	NIVEL SIMBÓLICO
ENTIDADES	<p>Reactivos: Combustible (sustancia reductora)</p> <p>Comburente = Oxígeno (sustancia oxidante)</p> <p>Energía de activación (chispa o llama) para iniciar el proceso</p> <p>Productos: dióxido de carbono, monóxido de carbono, vapor de agua, óxidos de nitrógeno y azufre (depende del tipo de combustible)</p> <p>Energía calorífica y luminosa</p>	<p>Reactivos</p>  <p>Productos:</p>  <p>Desprendimiento de energía calorífica y luminosa</p>	<p>Reactivos:</p> $\text{CH}_4 (\text{g}) + 2\text{O}_2 (\text{g})$ <p>Productos:</p> $\text{CO}_2 (\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O} (\text{g})$ <p>ΔH° (Energía)</p>
RELACIONES	<p>La energía de activación provoca colisiones-ruptura de enlaces para que inicie la reacción.</p> <p>Estado de transición: reacomodo de enlaces.</p> <p>Transformación de reactivos a productos (sustancias iniciales a finales)</p> <p>Liberación de energía calorífica y luminosa ($-\Delta\text{H}$) –proceso exotérmico–</p> <p>Conservación de la materia</p> <p>El número de átomos se conserva en los reactivos y en los productos.</p>	 <p>Reactivos:</p>  <p>Productos:</p>  <p>Conservación de la materia</p>	<p>Reactivos</p> $\text{CH}_4 (\text{g}) + 2\text{O}_2 (\text{g})$ <p>Productos</p> $\text{CO}_2 (\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O} (\text{g})$ <p>$\Delta\text{H}^\circ = - 803 \text{ kJ/mol}$</p> <p>(Reacción exotérmica)</p> <p>Conservación de la materia: (No. de átomos en los reactivos = No. de átomos en los productos).</p> <p>Reactivos:</p> <p>1 átomo de C 4 átomos de H 4 átomos de O</p> <p>Productos:</p> <p>1 átomo de C 4 átomos de H 4 átomos de O</p>
CONDICIONES	<p>Oxígeno como comburente</p> <p>Energía de activación</p>	 <p>Oxígeno</p> <p>Energía de activación</p>	<p>2O₂</p> <p>Energía de activación</p>

Tabla 4.5. Entidades, relaciones y condiciones del MCI.

Una vez realizada la revisión del contenido de los libros de la ciencia formal, se encontró que en ellos no se muestran los fenómenos a nivel macroscópico.

Con base en las investigaciones de Johnstone (1982, 1991 y 1993) considero que sí es necesario incluir imágenes de los fenómenos químicos en los libros de ciencia formal en el nivel macroscópico para que los estudiantes visualicen el fenómeno primero en el nivel macroscópico y vayan avanzando en su comprensión hacia el nivel sub-microscópico y simbólico.

En las figuras 4.11a y 4.11b, se representa de forma gráfica el MCi inferido tanto en el nivel simbólico como en el nivel submicroscópico. En la primera imagen se representan los átomos con sus orbitales de energía y sus electrones de acuerdo al Modelo de Bohr. En la segunda imagen se representan a los átomos con su símbolo y expresando sólo sus electrones de valencia de acuerdo al Modelo de Lewis en donde al final de la reacción química, todos átomos participantes cumplen con la ley del octeto, es decir son estables.

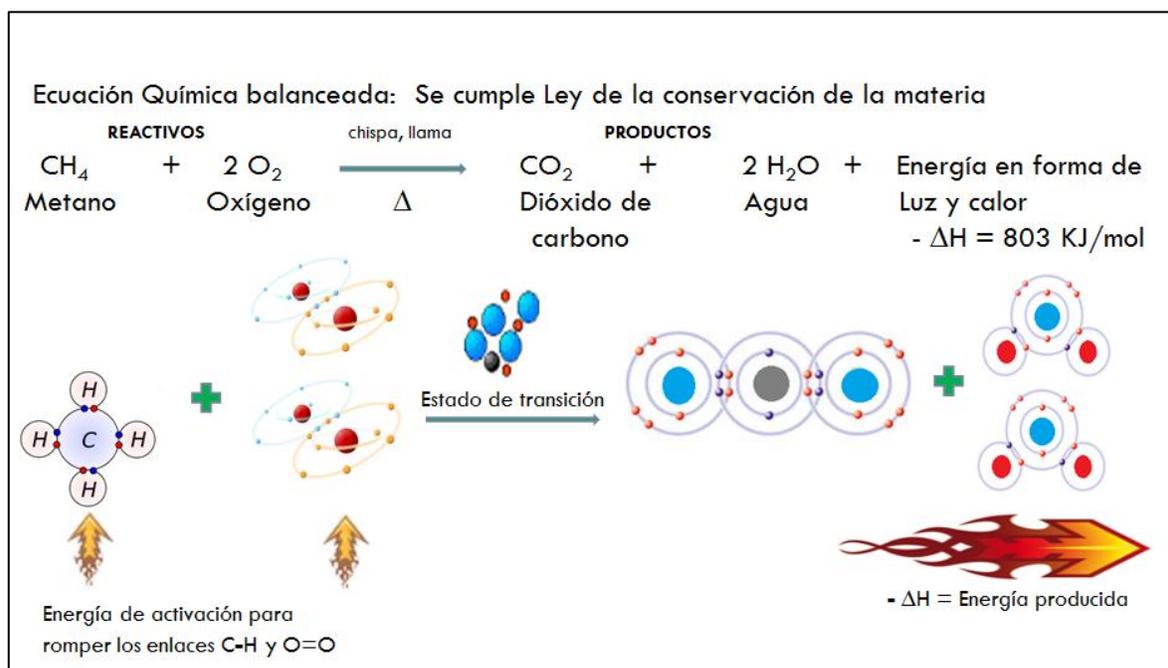


Figura 4.11a. Entidades, relaciones y condiciones del Modelo Científico. (Representación del nivel submicroscópico de acuerdo al Modelo de Bohr).

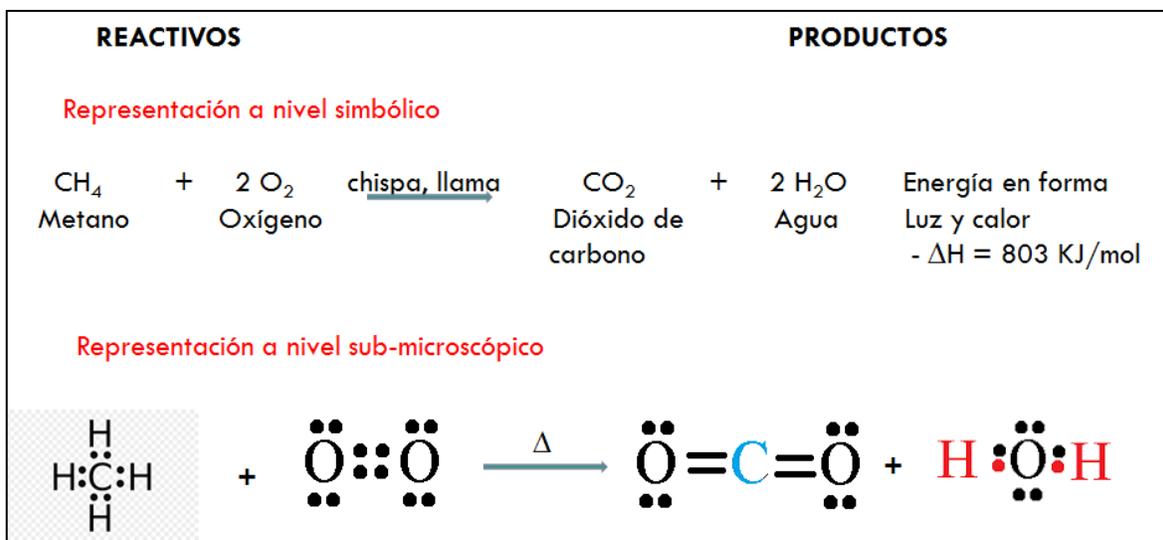


Figura 4.11b. Representación simbólica y sub-microscópica del Modelo Científico. La representación sub-microscópica obedece al Modelo de Lewis.

4.5 Modelo Científico Escolar de Arribo

Como ya mencioné en el apartado 4.4, al tensionar o comparar las entidades, relaciones y condiciones del MEI, del MCu y del MCi, es posible construir el MCEA. Este último funcionará como guía en la selección de las actividades didácticas que se han de incluir en la secuencia didáctica para modelizar el cambio químico, ya que ha de proporcionar los criterios teóricos y metodológicos que orientarán el diseño de la misma.

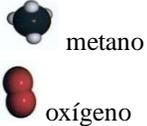
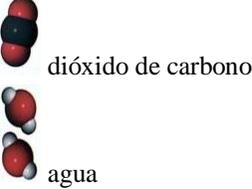
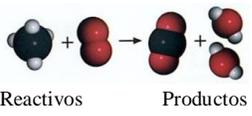
Con el MCEA construido, también será posible determinar los modelos logrados por los 40 estudiantes participantes en este estudio, analizar y evaluar en qué medida se aproximan al MCEA postulado y así mismo validar la pertinencia del empleo de la secuencia propuesta para modelizar el cambio químico a partir del fenómeno de la combustión. En el apartado siguiente se presenta el MCEA construido y se explican los aspectos que comparte con los modelos que se tensionaron para darle origen.

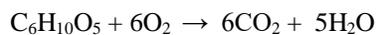
4.5.1 Construcción del MCEA para el fenómeno de la combustión

Una vez analizados los tres modelos (MEI, MCu y MCi), inferidos para la reacción de combustión del metano³⁵, se propone el MCEA cuyas entidades, relaciones y condiciones se plantean en la tabla 4.6.

³⁵ Se presenta la reacción de combustión del metano por ser el hidrocarburo más simple cuyo ejemplo se emplea tanto en los libros de texto de secundaria como en los de nivel superior.

La reacción de combustión de la celulosa, componente principal del papel, se expresa como sigue:

COMPONENTES	NIVEL MACROSCÓPICO	NIVEL SUBMICROSCÓPICO	NIVEL SIMBÓLICO
ENTIDADES	<p>Reactivos: (Sustancias iniciales)</p> <p>Material o sustancia cuya propiedad es que pueda quemarse (combustible)</p> <p>Oxígeno = comburente (se combina con el combustible)</p> <p>Algo que inicie la reacción (llamada energía de activación: cerillo, encendedor, mechero)</p> <p>Nuevas sustancias (llamadas productos, resultado de la interacción química: dióxido de carbono y vapor de agua).</p> <p>Energía calorífica y luminosa</p>	<p>Reactivos:</p>  <p>metano</p> <p>oxígeno</p> <p>Productos:</p>  <p>dióxido de carbono</p> <p>agua</p>	<p>Reactivos: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2$</p> <p>Productos: $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$</p>
RELACIONES	<p>El iniciador (energía de activación), proporciona energía para que la reacción comience.</p> <p>El material que se quema se transforma en materiales diferentes.</p> <p>Manifestación de energía calorífica y luminosa</p> <p>Conservación de la masa</p>	<p>Reordenamiento de átomos (ruptura de enlaces y formación de nuevos enlaces)</p>  <p>Conservación del número de átomos, lo que implica la conservación de la masa.</p>  <p>Reactivos Productos</p>	<p>Ecuación química que muestra la transformación de reactivos a productos con su respectivo estado de agregación</p> <p>$\text{CH}_4 (\text{g}) + 2\text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2 (\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O} (\text{l})$</p> <p>El número de átomos se conserva (Ley de la conservación de la materia).</p> <p>Reactivos: 1 átomo de C 4 átomos de H 4 átomos de O</p> <p>Productos: 1 átomo de C 4 átomos de H 4 átomos de O</p>

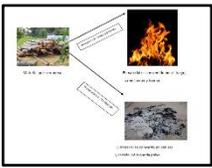


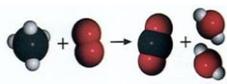
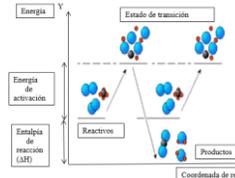
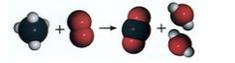
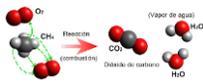
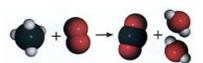
Lo que traducido a lenguaje común es que “1 mol de celulosa reacciona estequiométricamente con 6 moles de oxígeno para producir 6 moles de dióxido de carbono y 5 moles de agua” (Carazo, 2006, p.2).

CONDICIONES	Oxígeno como comburente Energía de activación	 Oxígeno Energía de activación	O ₂ Energía de activación

Tabla 4.6. Entidades, relaciones y condiciones del MCEA para la reacción de combustión del metano.

En la siguiente tabla 4.7 se presentan los cuatro modelos establecidos para la reacción de combustión del metano.

		MEI	MCu	MCi	MCEA
ENTIDADES		Material que se quema Fuego Humo Cenizas 	Reactivos: Material o sustancia que se quema (combustible) Oxígeno (comburente) Productos: Dióxido de carbono Agua	Reactivos: Material o sustancia que se quema (combustible) (oxidante- reductor) Oxígeno = comburente (sustancia oxidante que se combina con el combustible) Energía de activación (chispa, llama) para iniciar el proceso Productos: dióxido de carbono, monóxido de carbono, vapor de agua y óxidos de nitrógeno y azufre (depende del tipo de combustible) Energía calorífica y luminosa	Reactivos: (Sustancias iniciales) Material o sustancia cuya propiedad es que pueda quemarse (combustible) Oxígeno = comburente (se combina con el combustible) Algo que inicie la reacción (llamada energía de activación: cerillo, encendedor, mechero) Nuevas sustancias (llamadas productos, resultado de la interacción química: dióxido de carbono y vapor de agua) Energía calorífica y luminosa
	RELACIONES	NIVEL MACRO El material se convierte en cenizas y carbón (sólidos). Salen llamas (calor) Salen humos (gas)	Transformación de reactivos a productos (sustancias iniciales a finales) Ley de la conservación de la masa	La energía de activación provoca colisiones-ruptura de enlaces para que inicie la reacción. Estado de transición: reacomodo de enlaces Transformación de reactivos a productos (sustancias iniciales a finales) Liberación de energía calorífica y luminosa (-ΔH) –proceso exotérmico–	El iniciador (energía de activación), proporciona energía para que la reacción comience El material que se quema se transforma en materiales diferentes Manifestación de energía calorífica y luminosa

				<p>Conservación de la masa (No. de átomos en los reactivos = No. de átomos en los productos)</p>	
NIVEL MICRO		<p>Conservación del número de átomos que implica la conservación de la masa</p>  <p>Reactivos Productos</p>	<p>La energía de activación rompe los enlaces sp^3 del C-H y del oxígeno, provoca una reacción en cadena</p> <p>Se forman nuevos enlaces</p> <p>Combinación química en la que los átomos de las sustancias (reactivos), se combinan y reorganizan para formar nuevas sustancias (productos)</p>  <p>Conservación del número de átomos que implica la conservación de la masa</p>  <p>Reactivos Productos</p>	<p>Reordenamiento de átomos (ruptura de enlaces y formación de nuevos enlaces)</p>  <p>Conservación del número de átomos, lo que implica la conservación de la masa.</p>  <p>Reactivos Productos</p>	
NIVEL SIMBÓ-LICO		<p>$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$</p> <p>Reactivos Productos</p>	<p>Reactivos → productos</p> <p>$CH_4 (g) + 2O_2 (g) \rightarrow CO_2 (g) + 2H_2O (l)$</p> <p>El número de átomos se conserva</p> <p>Reactivos:</p> <p>1 átomo de C 4 átomos de H 4 átomos de O</p> <p>Productos:</p> <p>1 átomo de C 4 átomos de H 4 átomos de O</p> <p>$\Delta H^\circ = - 803 \text{ kJ/mol}$</p>	<p>Ecuación química que muestra la transformación de reactivos a productos con su respectivo estado de agregación</p> <p>$CH_4 (g) + 2O_2 (g) \rightarrow CO_2 (g) + 2H_2O (l)$</p> <p>El número de átomos se conserva (Ley de la conservación de la materia)</p> <p>Reactivos:</p> <p>1 átomo de C 4 átomos de H 4 átomos de O</p> <p>Productos:</p> <p>1 átomo de C 4 átomos de H</p>	

				(reacción exotérmica)	4 átomos de O
CONDICIONES			Oxígeno como comburente Chispa, cerillo	Material combustible (que contenga carbono) Oxígeno como comburente * Energía de activación	Material combustible (que contenga carbono) Oxígeno como comburente Energía de activación

Tabla 4.7. Entidades, relaciones y condiciones de los MEI, MCu, MCI y MCEA para la reacción de combustión del metano.

En la figura 4.12 se presentan las entidades, relaciones y condiciones del MCEA en los niveles submicroscópico y simbólico propuestos para modelizar el fenómeno de la combustión como ejemplo del cambio químico.

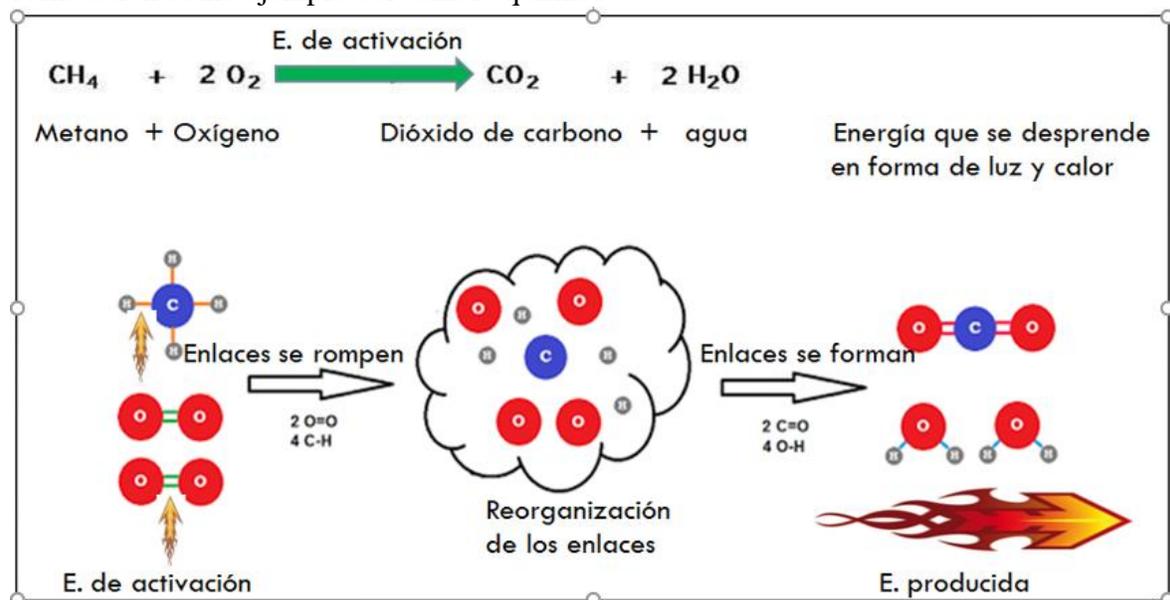


Fig. 4.12. Representación del MCEA de la combustión del metano (nivel submicroscópico y simbólico).

El mecanismo de reacción que se observa en esta figura, realmente está muy simplificado. La nube de átomos aislados que se observan en medio no es la forma en como la reacción realmente ocurre, pero es útil para fines didácticos porque da la idea que los átomos están en el estado de transición, en donde se reorganizan para generar moléculas diferentes a las iniciales que es lo que caracteriza al cambio químico.

El MCEA propuesto tiene características tanto del MEI –sobre todo en el nivel macroscópico– como del MCu y del MCI, pero es diferente porque al tensionar dichos modelos el MCEA que se propone tiene características propias. El MCEA abarca las siguientes entidades: Reactivos (sustancias iniciales que son los materiales o sustancias que

se van a combinar químicamente), uno de los reactivos es el metano, es decir el combustible, –cuya propiedad es que pueda quemarse–, otro de los reactivos es el oxígeno que interviene como comburente necesario para que la reacción ocurra. La energía de activación que puede ser un cerillo, encendedor, chispa o mechero, desempeña un papel muy importante porque es la que provoca que los átomos de los reactivos colisionen entre sí para que se rompan sus enlaces y lleguen a un estado de transición, después del cual se formarán nuevos enlaces y por lo tanto nuevos productos. Estos nuevos productos que se forman son dióxido de carbono y agua, ambos en estado gaseoso y constituyen lo que los estudiantes identifican como “humos” en el MEI.

En cuanto a las relaciones -en el nivel submicroscópico-, en el MCEA se resalta que hay un reordenamiento de los átomos (ruptura de unos enlaces y formación de enlaces nuevos), así como la conservación del número de átomos que intervienen como reactivos y que se obtienen en los productos, lo que implica la conservación de la masa y el cumplimiento de la Ley de la conservación de la materia.

En relación con la energía calorífica y luminosa, –que el estudiantado menciona en su MEI como: “*salen llamas*”– se enfatiza en el MCEA, que dicha energía se genera durante la reacción, la cual es consecuencia de la ruptura de unos enlaces con mayor energía y la formación de otros con menor energía; la energía sobrante es la que se desprende en forma de luz y calor.

En el aspecto de las relaciones a nivel simbólico, el MCEA emplea la ecuación química, que muestra la transformación de reactivos a productos con su respectivo estado de agregación:



en donde se observa que el número de átomos es el mismo tanto en los reactivos como en los productos, con lo cual se cumple la Ley de la conservación de la materia.

En cuanto a las condiciones, en el MEI no existe alguna y en el MCEA se plantea que la presencia de la energía de activación es una condición porque sin ella la reacción no puede dar inicio. De igual forma se menciona que el oxígeno es necesario para que la reacción se lleve a cabo y que el combustible debe ser un material o sustancia que contenga carbono en su composición química.

Al tensionar –comparar– al MCEA con el MCu se observa que comparten algunas características, pero el primero es más completo, ya que el MCu no contempla como una condición la energía de activación ni plantea un reacomodo de los átomos –estado de transición– para que se formen los nuevos productos, tampoco explica por qué se obtiene energía calorífica y luminosa y el MCEA sí lo contempla.

En el momento de tensionar al MCEA con el MCi nos damos cuenta que el MCi es mucho más complejo en sus explicaciones, -sobre todo en el aspecto de las relaciones en el nivel

sub-microscópico y simbólico-, de igual forma en el cálculo del ΔH° ($\Delta H^\circ = - 803 \text{ kJ/mol}$), el cual es un resultado negativo y por lo tanto la reacción es exotérmica.

Hechas estas observaciones es conveniente mencionar que el MCEA toma aspectos tanto del MEI como del MCu y pretende acercarse al MCI, pero tiene un grado de menor dificultad que éste porque permite un vocabulario flexible, no explica el desarrollo de la reacción en términos de entalpía de formación para cada una de las sustancias, no profundiza en la cuantificación de la energía que la reacción produce ni aborda el mecanismo detallado de cómo se lleva a cabo la reacción.

Con el planteamiento del MCEA en cambio, se pretende que, mediante el desarrollo de la actividad científica escolar, se conduzca al alumnado a una evolución desde su MEI hacia una aproximación del MCI; con lo cual se pretende que cambien la visión de transmutación hacia la de transformación o reacción química.

4.5.2 Criterios de diseño de la secuencia didáctica derivados del MCEA

El MCEA construido en el apartado anterior, posibilita el establecimiento de criterios orientadores para el diseño de la secuencia didáctica, cuya finalidad es conducir a los estudiantes de secundaria hacia la comprensión del cambio químico.

Los criterios de diseño, derivados del análisis de las entidades, relaciones y condiciones del MCEA que se tomaron en cuenta para la elaboración de la secuencia didáctica son los que a continuación se enlistan:

1. Las actividades propuestas deben conducir a los estudiantes hacia los tres niveles de representación de la química: macroscópico, sub-microscópico y simbólico.
2. Partir del nivel macroscópico que es el mundo de lo visible y lo palpable, e ir avanzando hacia el nivel sub-microscópico y simbólico.
3. De igual manera, partir de lo simple y concreto y avanzar hacia lo complejo y abstracto como lo plantea Sanmartí (2005).
4. Tomar en cuenta el Modelo Cinético de Partículas.
5. Establecer la idea de que los átomos se unen mediante enlaces para formar sustancias.
6. Introducir la idea de que durante el cambio químico los átomos de los reactivos reorganizan sus enlaces para dar lugar a la formación de productos.
7. Contemplar que en toda reacción química hay un intercambio de energía con el medio circundante.
8. Establecer que la energía de activación es necesaria para que se lleve a cabo la reacción.
9. Fundamentar que el oxígeno es necesario para que la reacción ocurra.
10. Verificar que se cumpla la Ley de la conservación de la materia.

Establecidos los criterios orientadores para el diseño de la secuencia didáctica que se ha diseñado, es importante reflexionar sobre los objetivos que se pretende lograr en cada una de las actividades didácticas antes de realizarlas.

La secuencia didáctica diseñada a partir de los criterios orientadores del MCEA, así como su implementación se presentan en el siguiente capítulo.

“El aprendizaje no es, en modo alguno, un proceso pasivo, basado en la mera receptividad; por el contrario, es un proceso eminentemente operativo, en el cual cumplen un papel fundamental la atención, el empeño y el esfuerzo del alumno”.

Luis A. De Mattos

CAPÍTULO 5

SECUENCIA DIDÁCTICA Y SU IMPLEMENTACIÓN

En el capítulo anterior se construyeron los modelos teóricos (MEI, MCu y MCi), a partir de los cuales se construyó el MCEA. Este último modelo –el MCEA– nos ha de guiar en el diseño de una secuencia didáctica con la finalidad de modelizar el cambio químico.

En este capítulo se presentan los resultados de una revisión de la literatura sobre propuestas planteadas por diversos autores para contar con una fundamentación teórica sobre el diseño, aplicación y evaluación de una secuencia didáctica. Posteriormente, se presenta la estructura de la secuencia didáctica en la que se incluyen actividades de inicio o exploración, de introducción de nuevos puntos de vista, de síntesis y de generalización Sanmartí, (2002 y 2005). Así mismo se presenta la secuencia de contenidos, selección y diseño de las actividades didácticas, posteriormente se incluyen los resultados del pilotaje de la secuencia y los ajustes realizados con base en los resultados de dicho pilotaje.

5.1 Las secuencias didácticas como estrategias de enseñanza

Desde los años 80's se ha venido desarrollando una línea de investigación cuyo objetivo es y ha sido el diseño e implementación de secuencias didácticas para la enseñanza de las ciencias, con la visión de mejorar la comprensión de los estudiantes sobre los conocimientos científicos (Driver y Oldham, 1986; Driver, 1989; Sánchez y Valcárcel, 1993 y 1997; Méheut and Psillos, 2004; Sanmartí, 2002, 2005; Izquierdo et al., 2007; Merino y Sanmartí 2008; Merino e Izquierdo, 2011; López-Mota y Rodríguez-Pineda, 2013; López-Mota y Moreno-Arcuri, 2014, entre otros). A partir de entonces, esta línea de investigación ha tenido un gran crecimiento y son numerosos los trabajos que se han publicado en torno al mencionado tema. Driver y Oldman publicaron en 1986 sus trabajos realizados sobre el diseño, aplicación y evaluación de estrategias de enseñanza, desarrollados con la finalidad de dar un enfoque constructivista a la enseñanza de las ciencias en el Reino Unido; partiendo de las propias

ideas del alumnado y generando la construcción de conocimientos que modifiquen dichas ideas aproximándolas hacia las concepciones científicas.

Posteriormente Driver (1988) especifica con mayor amplitud los requerimientos para la elaboración de una secuencia didáctica e indica que un diseño curricular de esta naturaleza implica:

- a) Tomar en cuenta las ideas previas de los estudiantes.
- b) Desarrollar formas de trabajo en clase de forma tal, que animen a los estudiantes a participar activamente en el proceso de aprendizaje, de manera tanto individual como colectiva.
- c) Tomar decisiones con respecto a los “contenidos” a enseñar.
- d) Tener conocimiento práctico del profesor sobre los estudiantes, es decir tomar en cuenta el contexto.
- e) Diseñar actividades que permitan la introducción de nuevas ideas
- f) Crear oportunidades para utilizar los conceptos en situaciones variadas –actividades de aplicación–.
- g) La puesta en práctica de la estrategia.
- h) La evaluación del aprendizaje.

Otros teóricos (Duschl, 1997 e Izquierdo et al., 2007), consideran que la planeación, diseño y aplicación de secuencias didácticas es una de las actividades más importante de los docentes, ya que a través de ellas es posible establecer un acercamiento de la ciencia de los científicos a la ciencia que se desarrolla en la escuela, con lo cual se posibilita “*concretar en la práctica las ideas e intenciones educativas*” (Sanmartí, 2005). Por lo tanto, el profesorado de ciencias, ha de tener una amplia autonomía para la toma de decisiones curriculares –qué y cómo se va a enseñar– y para el diseño de las unidades didácticas que ha de aplicar en clase para alcanzar los objetivos que actualmente se plantean en la formación científica escolar.

Justi (2006) y Prieto y Watson (2007) plantean que, con la finalidad de facilitar el proceso de modelización de los diferentes fenómenos estudiados por la ciencia, los docentes han de diseñar secuencias didácticas a partir de hechos del mundo que sean relevantes para el aprendiz y le resulten familiares. Estos ‘hechos paradigmáticos’ (Izquierdo, 2007; Merino e Izquierdo, 2011) pueden abordarse mediante analogías, metáforas, experimentos y representaciones multimodales para propiciar que los alumnos puedan interpretarlos, comprenderlos, modelarlos e interiorizarlos (Izquierdo, 2003), pero el profesorado también ha de ser consciente que los sujetos elaboran una construcción individual de acuerdo a sus experiencias, y por lo tanto será diferente, personal e idiosincrática para cada uno de ellos (Ernest, 1995).

Por otra parte, para clasificar y validar secuencias didácticas, Méheut y Psillos (2004) proponen un rombo didáctico (ver figura 5.1) formado por dos ejes: Un eje horizontal que representa la dimensión pedagógica y un eje vertical que representa la dimensión epistemológica. La dimensión pedagógica tiene que ver con el papel del profesor, con los

tipos de interacción que se desarrollan entre él y los estudiantes en la clase, así como las interacciones que se dan entre los propios estudiantes. El eje epistemológico refleja los procesos de construcción del conocimiento y cómo, dicho conocimiento se relaciona con el mundo material.

El rombo didáctico, también es muy útil como guía para el diseño de secuencias didácticas; porque en él es posible representar las concepciones alternativas que los estudiantes tienen sobre el mundo material, sus razonamientos espontáneos y sus actitudes hacia el conocimiento científico. De igual forma, pueden representarse las actitudes que con respecto al mencionado conocimiento tiene el profesor; quien necesariamente debe dominar el contenido para realizar una selección apropiada de los conocimientos a enseñar y planear una secuencia tomando ejemplos del mundo material que sean familiares o cercanos a la realidad de los estudiantes, para facilitar la progresión de los aprendizajes, la apropiación de los contenidos propios de la ciencia escolar y por ende la construcción del conocimiento.

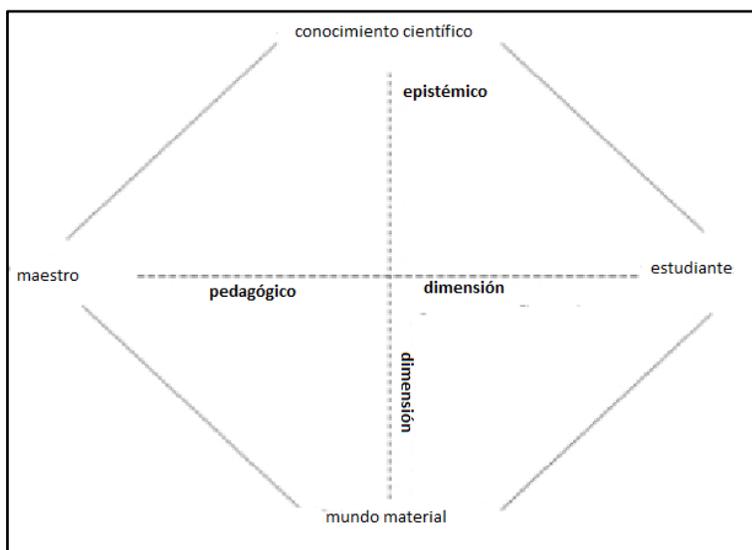


Fig. 5.1. Rombo Didáctico. Fuente: Méheut y Psillos, (2004, p.517).

López-Mota y Moreno-Arcuri (2014) han replanteado el rombo didáctico propuesto por Méheut y Psillos (2004) para fundamentar teóricamente al constructo que ellos han llamado Modelo Científico Escolar de Arriba, como un modelo viable para el diseño y validación de secuencias didácticas basadas en la modelización. En este replanteamiento, los autores argumentan que, para el diseño de secuencias didácticas, se requiere de una única dimensión –para ellos la dimensión didáctica, que para Méheut y Psillos (2004) constituye la dimensión pedagógica– y consideran a la vez, que la dimensión epistemológica queda subsumida en la dimensión pedagógica; es decir didáctica, ya que su planteamiento se desarrolla bajo el referente teórico de la modelización. Ver figura 5.2.

Es decir, estos autores consideran que las relaciones presentes entre el mundo material y el conocimiento científico, así como aquellas que existen entre el ámbito pedagógico y el

epistémico pueden considerarse como un conjunto integral, que se aborda desde la perspectiva de la ciencia escolar; con lo cual el estudiantado será capaz de involucrarse en la construcción de su propio conocimiento durante las actividades que se han de planear y desarrollar durante la actividad científica escolar. Con ello tanto el alumnado, como el profesorado de ciencias habrán llegado a la meta, la cual consiste en lograr el aprendizaje, al apropiarse de un modelo explicativo y construir, por lo tanto, el conocimiento científico escolar; el cual se verá reflejado en los Modelos Científicos Escolares Logrados, los cuales se espera y se postula sean cercanos al MCEA planteado.

Para López-Mota y Moreno-Arcuri (2014, p.112), “*el referente teórico para el diseño y validación de secuencias didácticas son los modelos científicos, los cuales son pensados desde el ámbito epistemológico como representaciones mediadoras entre las teorías y los fenómenos del mundo, los cuales son retomados como esenciales en el desarrollo de la actividad científica escolar –por medio de procesos de modelización– y tienen un papel primordial en el desarrollo curricular –en particular en el diseño y validación de secuencias didácticas–. De esta manera el referente teórico de los modelos presenta tres ámbitos a ser considerados: el epistemológico, el teórico-didáctico y el de las secuencias de enseñanza y aprendizaje; teniendo cada uno diferentes connotaciones*”.

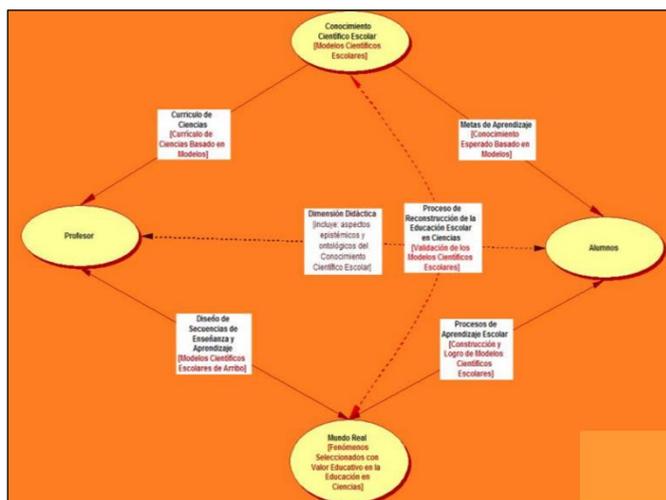


Fig. 5.2. Rombo Didáctico para el diseño y validación de secuencias de enseñanza y aprendizaje. López-Mota y Moreno-Arcuri (2014, p.111).

Siguiendo el replanteamiento teórico que (López-Mota y Moreno-Arcuri, 2014) han realizado para el rombo didáctico, el enfoque de la secuencia didáctica que en este trabajo se diseñó, está centrado tanto en el alumno, como en la construcción del conocimiento; es decir, abarca la dimensión pedagógica y la dimensión epistemológica al tomar en cuenta la relación que existe entre el conocimiento científico y el mundo material.

La secuencia didáctica que en esta investigación/intervención se diseñó, tiene influencia de varios autores, –expertos en este campo– pero el diseño y secuenciación de las actividades

que se han de desarrollar durante la actividad científica escolar, obedece principalmente a la propuesta planteada por Sanmartí (2002 y 2005). Esta autora sostiene que “*las secuencias didácticas son un conjunto de actividades de enseñanza-aprendizaje distribuidas a lo largo del tiempo, planificadas por el profesorado cuya finalidad es promover el aprendizaje de los alumnos con relación a determinados contenidos*” (Sanmartí, 2002, p.174). La autora, también argumenta que, mediante el diseño de las actividades didácticas, se provoca actividad mental en el alumnado y se ponen en comunicación tanto el polo del saber del que enseña como del que aprende. Por lo tanto, el profesor ha de adaptar la secuencia a sus objetivos y a su contexto particular, para ayudar a transformar los hechos que suceden en el entorno, en hechos científicos escolares mediante la actividad científica escolar, sin que para ello el conocimiento escolar tenga que ser igual al de los expertos.

Sanmartí (2005, p.), considera que la metodología de enseñanza propuesta en la secuencia, debe favorecer la autorregulación del proceso de construcción del conocimiento, propiciar la discusión, el contraste y la revisión de las nuevas experiencias de aprendizaje. Por lo tanto, “*al inicio de la puesta en práctica de la secuencia didáctica es importante que las actividades propuestas conecten con las ideas previas, los intereses y la lógica del alumnado*”, pero, además, es igualmente importante, comunicar a los alumnos qué se va a hacer, por qué y para qué.

Por otra parte, Sanmartí (2002, 2005) también argumenta, que las actividades que se planteen en la secuencia didáctica deben tener sentido para los estudiantes, por lo que es conveniente que la secuencia se diseñe como un proceso en donde los modelos iniciales de los alumnos *evolucionen* hacia los modelos que plantea la ciencia actual. Para ello es conveniente presentar las actividades en un orden de progresión, de tal forma que el nivel de complejidad aumente de forma paulatina a lo largo de la secuencia didáctica. Esta idea se ilustra con la figura 5.3.

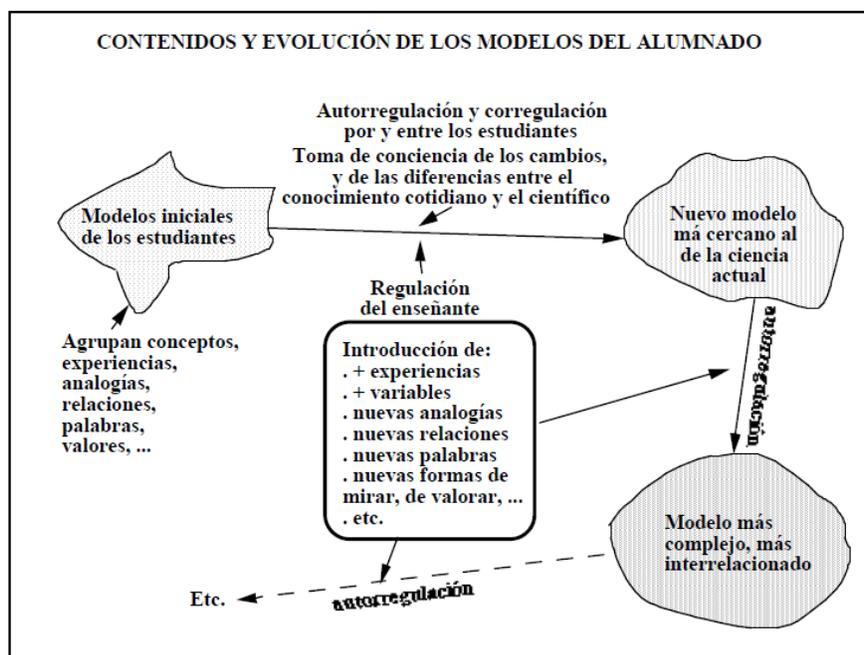


Fig. 5.3. Evolución de los aprendizajes científicos. Fuente: Sanmartí (2002, p.180).

De acuerdo con (Sanmartí, 2005, p.34): “Las actividades son las que posibilitan que el estudiante acceda a conocimientos que por sí mismo no podría llegar a representarse”, pero no es una actividad concreta la que posibilita el aprendizaje, sino el conjunto de ellas, por lo que en su diseño se han de tomar en cuenta tanto los contenidos a introducir como las características y diversidad del alumnado; así como las variables: tiempo y material disponibles para llevarlas a cabo.

Para diseñar una secuencia exitosa, es necesario garantizar la evolución de los modelos y la progresión de los aprendizajes. Para ello Sanmartí, (2002 y 2005) sugiere 4 fases para el diseño de la secuencia. Ver figura 5.4.

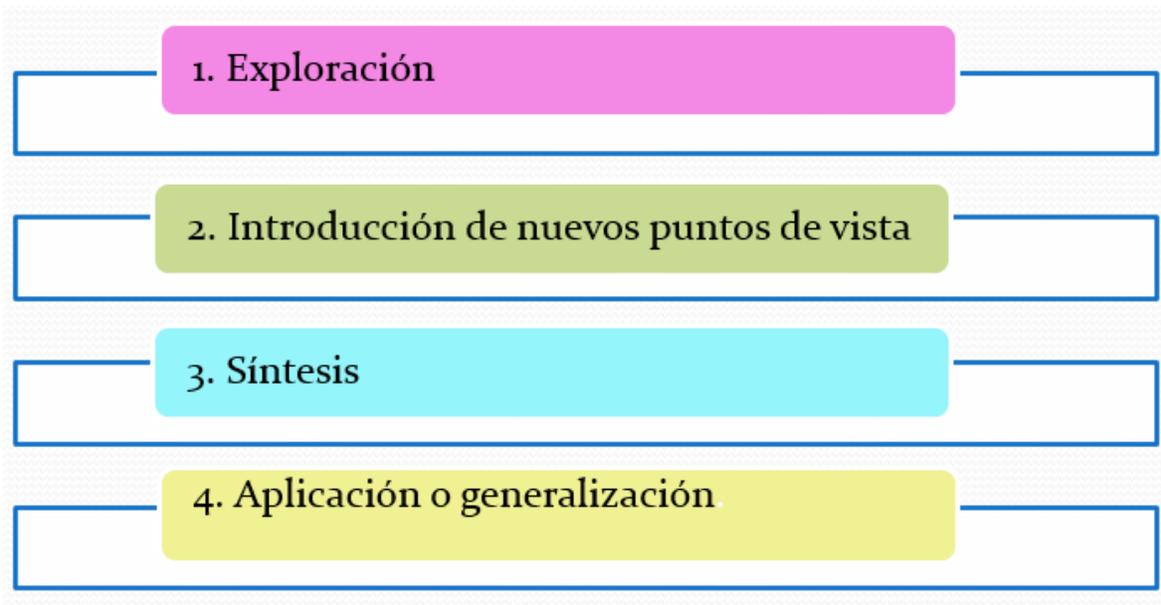


Fig. 5.4 Fases para el diseño de una secuencia didáctica. Adaptado de Sanmartí (2002 y 2005).

A continuación, se explica brevemente en qué consiste cada una de estas etapas:

1. Actividades de inicio o exploración

En esta fase el objetivo es facilitar que el alumnado identifique el fenómeno de estudio y explicita sus representaciones, dudas o hipótesis. Las representaciones pueden expresarse de forma oral, escrita o con dibujos. En este aspecto, el profesor ha de respetar las ideas expresadas por los alumnos, valorarlas positivamente, no decir que son buenas o malas sino simplemente diferentes; para que reconozcan que entre ellos hay diversidad de puntos de vista y se expresen con libertad y confianza. Se recomienda evitar las actividades que se realizan mecánicamente –sólo porque lo indica el profesor– y proponer actividades motivadoras que promuevan el planteamiento de preguntas significativas, observaciones y experimentos.

2. Actividades de introducción de nuevos puntos de vista

Las actividades de esta fase tienen la intención de promover la evolución de los modelos iniciales, introducir nuevas variables e identificar otras formas de observar y explicar el fenómeno o problema de estudio. Se pretende que el estudiante pueda construir ideas coherentes con las de la ciencia y correspondientes con las de los científicos a través de los modelos de la ciencia escolar, los cuales tienen poder explicativo y predictivo para interpretar los fenómenos (Sanmartí, 2005; Izquierdo et. al., 2007).

El proceso didáctico se ha de diseñar en función de una hipótesis de progresión, donde se tome en cuenta el incremento del nivel de complejidad de los aprendizajes a construir y el grado de abstracción en la formulación de ideas. Es conveniente considerar formas de trabajo colaborativo, donde el alumnado exponga sus diferentes puntos de vista y se favorezcan tanto la discusión como el razonamiento y la reflexión –siempre con respeto por las ideas del otro– y se posibilite que en cada etapa de la secuencia el mayor número de estudiantes pueda participar en la construcción del mejor modelo explicativo posible.

El diseño de estas actividades, requiere el dominio del contenido científico por parte del profesor, para seleccionar las experiencias educativas, plantear preguntas relevantes, proponer analogías e identificar los obstáculos de aprendizaje. Las actividades a realizar pueden ser ideas históricas o escritos actuales sobre el tema, maquetas, observaciones, experimentos o simulaciones que favorezcan la abstracción.

La selección de actividades experimentales debe permitir que los estudiantes interactúen con sistemas en donde se puedan observar o estén presentes los diferentes estados físicos de la materia: sólido-líquido-gas; que sean sistemas con los que los alumnos tengan una experiencia directa de éstos en la vida cotidiana y, en consecuencia, que estén familiarizados con ellos (Hatziniquita, et al., 2005; Sanmartí, 2005; Izquierdo et. al., 2007).

3. Actividades de síntesis

También llamadas de recapitulación o reestructuración, cuya finalidad es que los alumnos estructuren el conocimiento, elaboren conclusiones, tomen conciencia del modelo construido hasta ese momento y puedan expresarlo de la forma más abstracta posible. Es decir que el alumno sea capaz de expresar y explicar su modelo, así como de poder comunicarlo una vez que lo ha interiorizado.

La síntesis debe ser personal y la ha de hacer cada estudiante “*en función del grado de evolución de sus ideas*” (Sanmartí, 2005, p.40) y aunque todos hayan realizado las mismas actividades, seguramente los aprendizajes alcanzados serán diferentes entre los miembros del mismo grupo, por lo que es posible que haya tantos modelos como alumnos hay en la clase.

La síntesis puede expresarse mediante instrumentos formales como mapas conceptuales, textos escritos –por ejemplo: redacción de definiciones propias–, dibujos, esquemas, V de Gowin, modelos matemáticos –como la ecuación química–, murales, chats, recapitulación de los atributos del modelo, entre otros (Sanmartí, 2002, p.191). Estas síntesis se han de considerar provisionales, ya que de ningún modo debe pensarse que son resultados finales “*sino que son etapas de un proceso que discurre a través de toda la vida*” (Sanmartí, 2005, p.40).

4. Actividades de aplicación o generalización

Las actividades que se diseñan en esta etapa tienen la finalidad de transferir lo aprendido en el aula a otras situaciones relacionadas, o incluso nuevas y diferentes, que se puedan explicar con el modelo construido. De esta forma se favorece la evolución del modelo, porque al aplicarlo a otras situaciones se adquiere seguridad en su uso, se establecen relaciones entre situaciones distintas y el aprendizaje es significativo. Por ello, el diseño y selección de las actividades de aplicación es muy importante, las cuales han de posibilitar el inicio de un nuevo proceso de aprendizaje, así como el planteamiento de nuevas preguntas e interrogantes.

En esta fase también es importante tomar en cuenta la diversidad de los alumnos, ya que no todos sabrán aplicar el modelo construido a las diferentes situaciones, pero cualquier avance debe establecerse como válido.

Se han descrito las fases de una secuencia didáctica de acuerdo al modelo propuesto por Sanmartí (2002, 2005) para mejorar la enseñanza de las ciencias. Este modelo de diseño se resume en la figura 5.5 en donde se sitúan las actividades de acuerdo a su grado de abstracción y de complejidad.

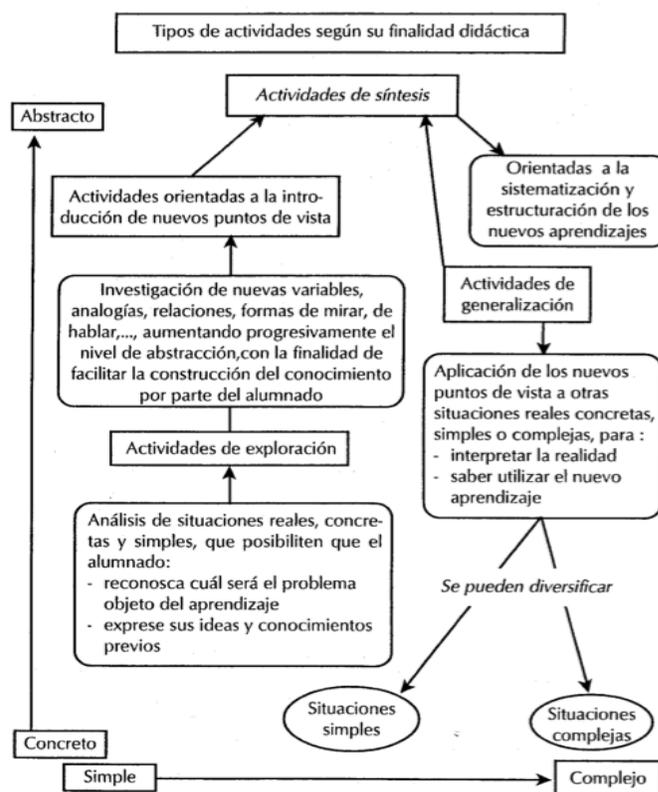


Fig. 5.5 Tipos de actividades según su finalidad didáctica. Fuente: Sanmartí (2005, p.42).

Sanmartí (2002) considera que, mediante el entrecruzamiento de la experimentación, la discusión y la modelización es posible la reconstrucción de los fenómenos, por lo que es

posible darles sentido a los hechos del mundo y relacionar la ciencia de los científicos con la ciencia que se hace en la escuela. Sin embargo, esta no es una tarea fácil ni lineal y hay muchas formas de abordarla. Para Sanmartí (2005, p.17) *“lo importante es la reflexión de cada uno de los procesos que se llevan a cabo y la aplicación de una serie de criterios para diseñar la secuencia”*.

Sanmartí (2005), considera que, durante la actividad científica escolar, el profesorado de ciencias debe abordar el estudio de los fenómenos, planeando actividades que partan de lo simple y concreto, y vayan avanzando poco a poco hacia lo complejo y abstracto.

Con base en Sanmartí (2005) y Johnstone (1982, 1991 y 1993), considero que, al abordar el tema de reacción química tomando como ejemplo el fenómeno de la combustión, la intención educativa, es precisamente partir de lo macroscópico (simple y concreto) y avanzar hacia lo sub-microscópico y simbólico (complejo y abstracto).

A continuación –como producto de la investigación teórica–, en la tabla 5.1 se presentan algunas propuestas de diversos autores, que abarcan desde la definición del término secuencia o unidad didáctica, hasta las actividades que –de acuerdo con ellos–, se deben integrar en una secuencia didáctica.

Driver (1988) Basada en el cambio conceptual	Sánchez y Valcárcel (1993) Basada en el cambio conceptual	Psillos y Méheut (2004) Basada en el cambio conceptual	Sanmartí (2002 y 2005) Basada en la modelización
<p>Secuencia de enseñanza: Es la construcción activa de significados, partiendo de las propias ideas de los alumnos, dando oportunidades para que ellos construyan y modifiquen sus ideas aproximándolas hacia las concepciones científicas. Integrada por una secuencia de actividades, diseñadas para partir de las ideas de los estudiantes y fomentar el cambio en su pensamiento</p> <p>Secuencia de aprendizaje: Contiene la siguiente estructura:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sesión inicial de orientación - Elicitación de ideas - Reestructuración de ideas - Aplicación de ideas - Revisión del cambio de ideas <p>Los que aprenden deben recorrer un camino desde su estado de conocimiento presente, a su estado de conocimiento futuro.</p>	<p>Unidad didáctica: Es la planificación de la enseñanza, en donde el profesor considera los contenidos necesarios para proporcionar al alumno un esquema conceptual científico sobre el objeto de estudio. Condicionada por el tipo de contenidos, número de alumnos por aula, experiencias previas del profesor y de los alumnos</p> <p>Estructura:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Análisis científico - Análisis didáctico - Selección de objetivos - Selección de estrategias didácticas - Selección de estrategias de evaluación 	<p>Secuencia de enseñanza-aprendizaje Es el resultado de una investigación de tipo intervencionista, cuyas actividades se adaptan de acuerdo al nivel de razonamiento de los estudiantes, con el objetivo de entrelazar la perspectiva científica con la perspectiva del alumno.</p> <p>En las secuencias diseñadas bajo esta propuesta se ponen en juego consideraciones como análisis de contenido, las concepciones de los estudiantes, la epistemología, las teorías del aprendizaje, las motivaciones y las limitaciones educativas.</p> <p>El producto de una secuencia didáctica es un paquete curricular como una unidad tradicional, pero con la diferencia que los aprendizajes planeados en una secuencia didáctica, se incluyen de forma gradual en un proceso evolutivo de construcción de los mismos.</p>	<p>Unidad didáctica: Abarca la programación de corto alcance de una serie de secuencias didácticas.</p> <p>Secuencia didáctica: Tiene objetivos de aprendizaje específicos, puede estar formada por un conjunto de lecciones o sesiones de clase y éstas a su vez por un conjunto de actividades.</p> <p>La Secuencia didáctica: Es un conjunto de acciones planificadas por el profesorado, cuyo objetivo es <i>“promover el aprendizaje de los alumnos con relación a determinados contenidos”</i> (Sanmartí, 2002, p.174) y el diseño de las actividades didácticas para llevarlas a la práctica, es decir <i>“decidir qué se va a enseñar y cómo, es la actividad más importante que llevamos a cabo los enseñantes, ya que a través de ella se concretan las ideas e intenciones educativas”</i> (Sanmartí, 2005, p. 13).</p> <p>Actividad didáctica: conjunto de actividades de enseñanza-aprendizaje, distribuidas a lo largo del tiempo; planificadas por el profesorado cuya finalidad es promover el aprendizaje de los alumnos con relación a determinados contenidos.</p>

Tabla 5.1. Propuestas de diferentes autores para diseñar secuencias didácticas.

Una vez expuestas las ideas de los mencionados autores, se presenta una propuesta propia para definir el término secuencia didáctica. Esta definición surgió en un ejercicio realizado durante una clase de ciencias en la Maestría en Desarrollo Educativo –en la línea de investigación en ciencias–. Considero que es conveniente emplear esta definición, porque en ella se integran todos los aspectos que proponen los autores revisados y porque incluye la evaluación y la construcción de modelos científicos escolares durante la actividad científica escolar. Ver Tabla 5.1

Una **secuencia didáctica** implica el diseño, aplicación y evaluación de una serie de actividades de aprendizaje, sistemáticamente organizadas, planeadas desde el contenido de la disciplina tomando en cuenta criterios teóricos y metodológicos, el tiempo requerido y el número de sesiones necesarias para realizar las actividades, con la finalidad de favorecer la construcción de modelos científicos escolares que conduzcan al aprendizaje de un tópico específico a partir de la actividad científica escolar.

Cuadro 5.1 Propuesta propia para definir el término: Secuencia didáctica.

5.2 Estructura de la secuencia didáctica

Después de la revisión teórica expuesta en el apartado anterior, he decidido tomar como base para el desarrollo de la secuencia didáctica, las propuestas planteadas por Méheut y Psillos (2004), Sanmartí (2002) y López-Mota y Rodríguez-Pineda (2013), por considerar que proporcionan los fundamentos teóricos y metodológicos para diseñar una secuencia didáctica acorde con los objetivos planteados. Ver Figura 5.6

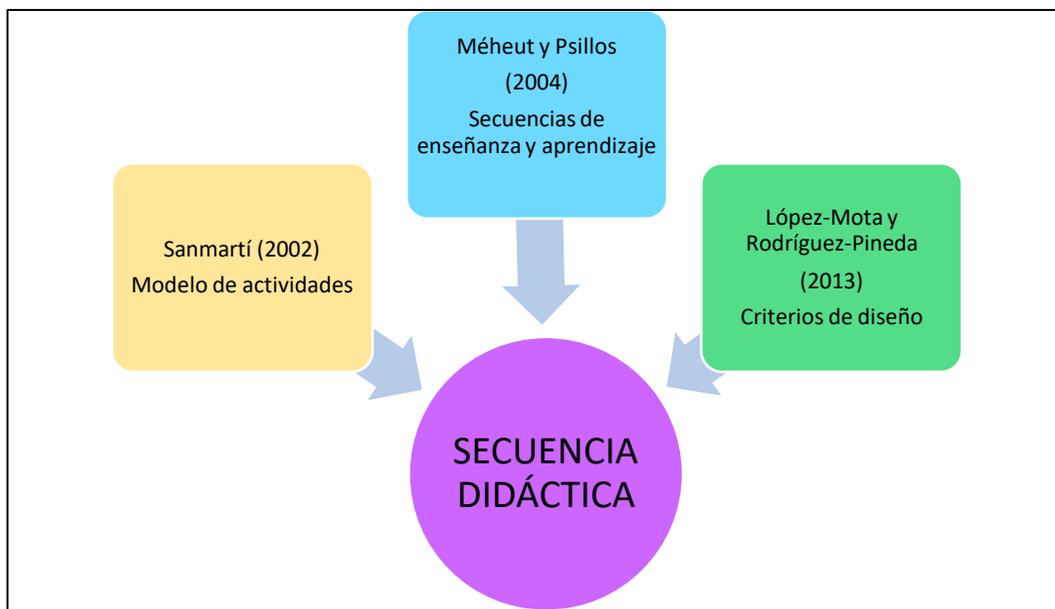


Fig. 5.6 Fundamentos teóricos y metodológicos de la secuencia didáctica.

5.3 Secuencia de contenidos a partir de los criterios de diseño del MCEA

La selección de los contenidos no es una tarea fácil, el profesorado ha de seleccionar aquellos que sean muy significativos para los estudiantes, que posibiliten la comprensión de fenómenos y conceptos relevantes tanto en el campo de las ciencias como en la sociedad. Es importante clasificar dichos contenidos en conceptuales, procedimentales y actitudinales fundamentalmente por motivos pedagógicos, pero no se debe caer en el error de pensar que cada contenido es susceptible de trabajarse independientemente; sino que en la modelización estos tres aspectos se integran (Sánchez y Valcárcel, 1993, 1997; Sanmartí, 2005) mediante las actividades de aprendizaje diseñadas en la secuencia didáctica. Hay que tener en cuenta que *“toda selección de contenidos implica un proceso de transposición didáctica”* (Sanmartí, 2005, p.25) –ya que no debemos confundir la ciencia de los científicos con la ciencia escolar–. Así mismo, hay que considerar que al inicio los estudiantes tienen sus propios modelos y su evolución dependerá de los nuevos *“conceptos, fenómenos, experiencias, instrumentos, técnicas, relaciones, analogías, proposiciones, cálculos, imágenes, ejemplos de problemas, así como de las formas de hablar y escribir”* (Sanmartí, 2005, p.23).

De acuerdo con Sanmartí (2005) para realizar la secuenciación de contenidos, se recomienda la elaboración –por parte del profesorado– de mapas conceptuales del tema a desarrollar, ya que estos esquemas o mapas permiten visualizar de manera general los principales contenidos interrelacionados de un problema o fenómeno. Una vez visualizados los contenidos es aconsejable secuenciarlos de lo simple a lo complejo, de lo concreto a lo abstracto y, de lo general a lo particular; para *“favorecer que los modelos iniciales de los estudiantes*

evolucioneen, desde sus representaciones simples y/o alternativas, a otras más complejas y/o cercanas a los modelos científicos actuales (Sanmartí, 2005, p.33).

Con base en la recomendación de Sanmartí (2005), decidí elaborar un mapa conceptual sobre el cambio químico, empleando como ejemplo el fenómeno de la combustión, –después de haber revisado el contenido científico y curricular– para seleccionar aquellos contenidos involucrados en la explicación del fenómeno estudiado.

En la figura 5.7 se muestra el mapa conceptual completo y en la figura 5.7.a se presenta el mismo mapa, pero dividido en secciones –A, B, C y D– así como en niveles³⁶ –nivel 1 al 6– de complejidad y abstracción de los contenidos; los cuales se han de abordar en ese orden al diseñar las actividades de la secuencia didáctica. Cada una de las secciones de este mapa se encuentran ampliadas en el apartado de anexos. Ver Anexo 1.

³⁶ La complejidad de cada nivel la he establecido con base en la propuesta de Sanmarti (2005).

En la siguiente figura, se observa el mapa diseñado al que me he referido en párrafos anteriores, el cual está dividido en secciones de acuerdo al nivel de complejidad y abstracción (Sanmartí (2005). De igual forma, al ir desarrollando las actividades diseñadas en la secuencia, se espera lograr avanzar del nivel macroscópico hacia el nivel simbólico y sub-microscópico, Johnstone (1982, 1991 y 1993).

NIVELES DE COMPLEJIDAD Y ABSTRACCIÓN DE LOS CONTENIDOS

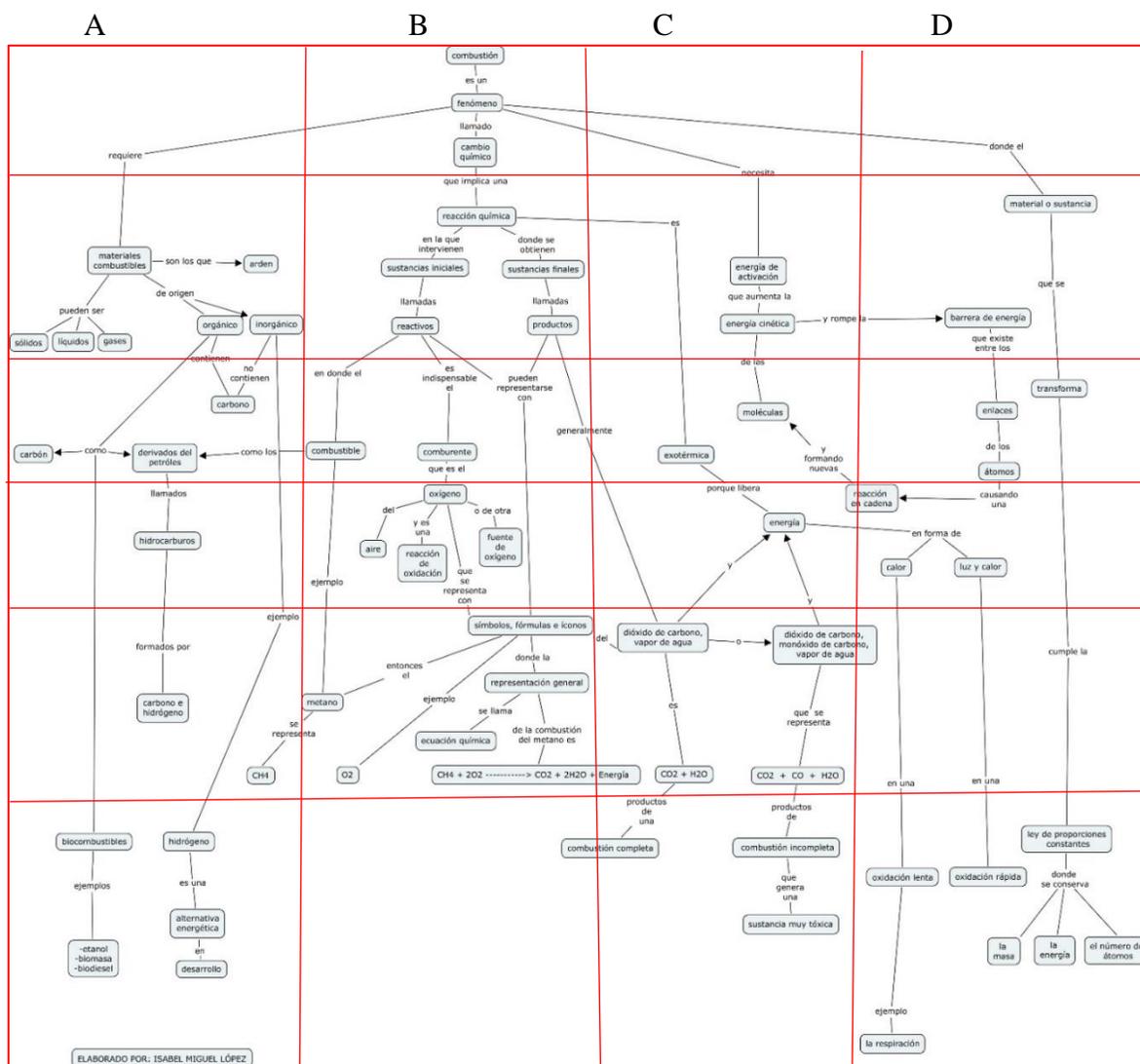


Fig. 5.7.a Mapa conceptual de la combustión, dividido en secciones de acuerdo al nivel de complejidad y abstracción de los contenidos.

NIVELES DE COMPLEJIDAD Y ABSTRACCIÓN DE LOS CONTENIDOS

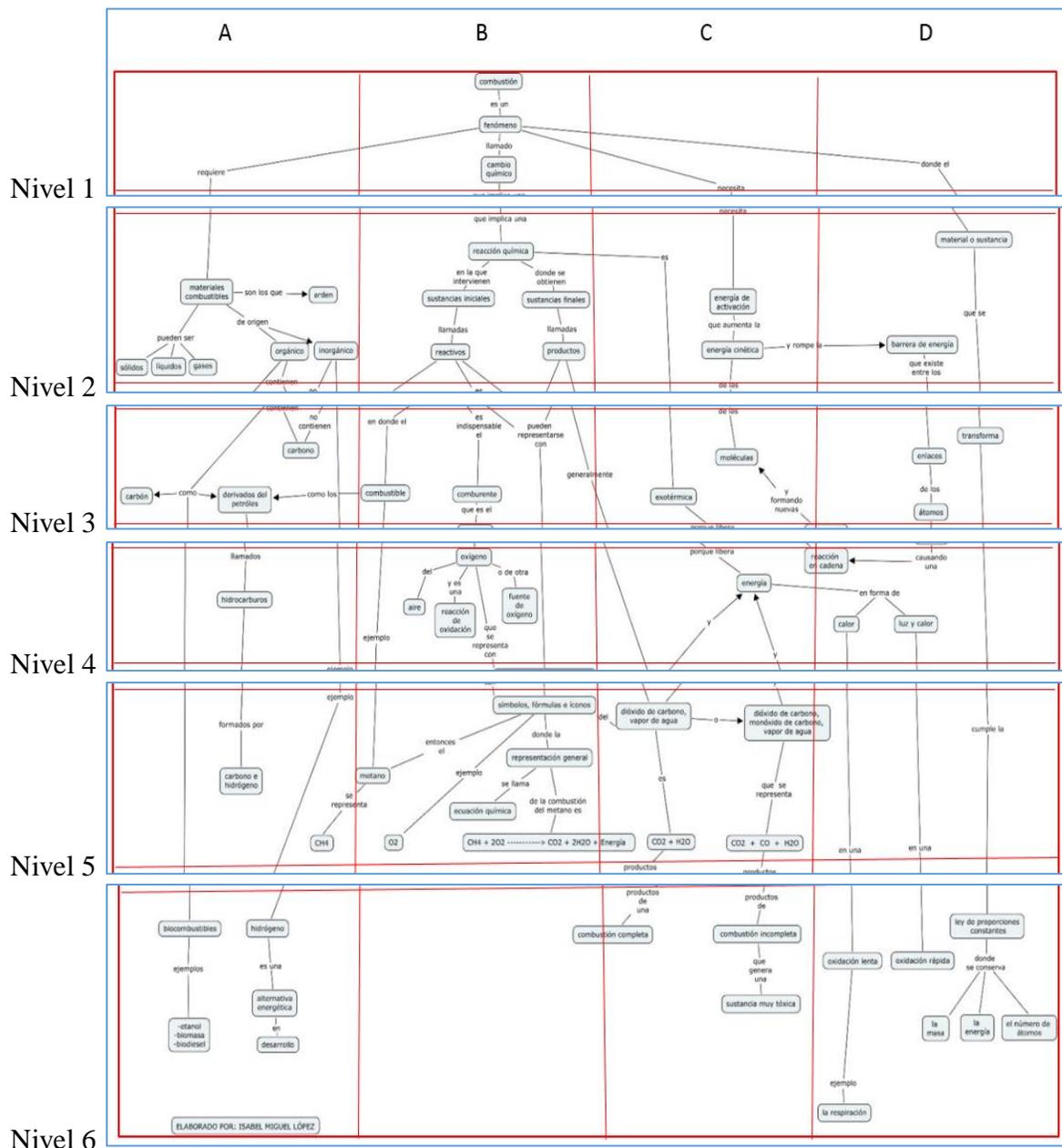


Fig. 5.7.b Mapa conceptual de la combustión, dividido en secciones de acuerdo al nivel de complejidad y abstracción de los contenidos.

Aunque en el mapa se integran tanto los contenidos curriculares como los de la ciencia formal, en el diseño de las actividades didácticas, únicamente se han de seleccionar aquellos que se interrelacionan, y que se identifican como entidades, relaciones y condiciones necesarias para dar cuenta del cambio químico, como se espera y se postula en el MCEA. Así que, una vez realizada la selección de los contenidos, se procedió a secuenciarlos de forma tal que los modelos de los estudiantes avancen de lo simple a lo complejo y de lo concreto a lo abstracto (Sanmartí, 2005). Así mismo, se espera que al final de la secuencia los estudiantes logren explicar el fenómeno de la combustión en los tres niveles de representación de la química –macroscópico, sub-microscópico y simbólico– planteados por Johnstone (1988, 1991 y 1993).

A continuación, presento la propuesta que planteo para secuenciar los contenidos que se han de integrar en la secuencia didáctica a diseñar.

En la figura 5.8 se muestra una adaptación a la propuesta de Sanmartí (2005), en ella presento seis modelos que integran los contenidos de la secuencia didáctica. El Modelo Explicativo 1 (ME_1) corresponde al Modelo Explicativo Inicial de los estudiantes (MEI), –el cual es un modelo simple y concreto–. Del ME_2 hasta el ME_6 son construcciones parciales del modelo completo, que se espera los estudiantes vayan construyendo de manera progresiva en sus modelos parciales, –conforme se avanza en las actividades de la secuencia– en donde cada vez aumenta el nivel de abstracción y complejidad. La idea es ir apuntando hacia un modelo más cercano al científico, y se considera que aquellos estudiantes que construyan hasta el ME_6 serán quienes logren alcanzar el MCEA al 100%.

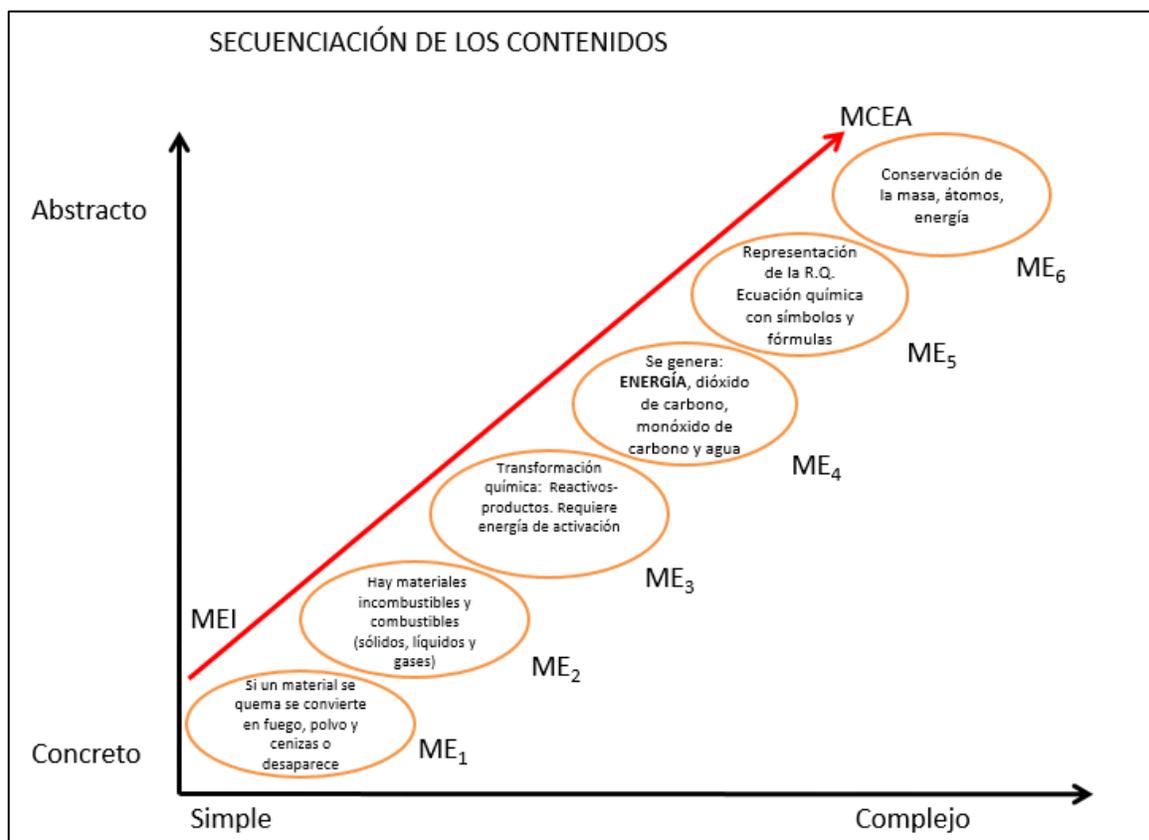


Fig. 5.8. Secuencia de contenidos, desde el Modelo Explicativo Inicial (ME₁) hasta el (ME₆), MCEA. Adaptada de Sanmartí (2005).

Como se puede observar en la figura 5.6, las actividades de la secuencia han de planearse partiendo del MEI de los estudiantes, con el cual algunos de ellos explican que cuando los materiales se queman se convierten en fuego, polvo y cenizas, para otros los materiales desaparecen y para otros más los materiales se transmutan. Posteriormente habrá que introducir otras actividades, para que poco a poco el alumnado comprenda que el fenómeno de la combustión es un cambio químico; en donde los materiales o sustancias se transforman, porque ocurre la ruptura de los enlaces de los reactivos y la formación de nuevos enlaces en los productos. Que al ocurrir esta nueva combinación química se produce una determinada cantidad de energía y que la cantidad de átomos se conserva tanto en los reactivos como en los productos cumpliéndose así la Ley de la conservación de la materia.

También se ha de hacer énfasis en las entidades, relaciones y condiciones necesarias para que se lleve a cabo esta reacción química.

La selección depende del enfoque del profesor, de la visión que tenga sobre de qué forma considera que aprenden mejor los alumnos. El enfoque constructivista del aprendizaje

promueve que el alumno se integre en la construcción de su aprendizaje, que se autoevalúe y regule sus formas de pensar y actuar.

Por ejemplo, las actividades experimentales deben permitir que los alumnos interactúen con sistemas en donde se puedan observar o estén presentes los diferentes estados físicos de la materia: sólido-líquido-gas; que sean sistemas con los que los alumnos tengan una experiencia directa de éstos en la vida cotidiana y, en consecuencia, que están familiarizados con ellos (Hatziniquita, et al., 2005; Sanmartí, 2005; Izquierdo et. al., 2007).

5.4 Selección y diseño de las actividades didácticas

Como mencioné en el apartado 5.2, decidí emplear como base para el diseño de la secuencia didáctica las propuestas de Sanmartí (2002), Méheut y Psillos (2004) y López Mota y Rodríguez- Pineda (2013).

De la propuesta de Sanmartí (2002), he tomado el modelo de las actividades a desarrollar, (inicio o exploración, introducción de nuevos puntos de vista, síntesis y aplicación o generalización), de Méheut y Psillos (2004) las bases pedagógicas para el diseño de la secuencia y de López Mota y Rodríguez- Pineda (2013) el fundamento del MCEA que proporciona criterios orientadores en el diseño de las actividades didácticas.

5.4.1 Planeación docente

En este apartado presento una propuesta personal de los aspectos que considero se deben tomar en cuenta al realizar la planeación de las actividades didácticas, ya que dichos aspectos serán de gran utilidad en el diseño de la secuencia didáctica. En la tabla 5.2 se observa la planeación que desarrollé, la cual me sirvió de base en la construcción de la secuencia didáctica que diseñé para abordar el tema de la reacción química.

1. Unidad Temática	Bloque III: La transformación de los materiales.
2. Subtema	Reacción química.
3. Objetivo general	Al finalizar la secuencia didáctica, se espera que el estudiante haya desarrollado la capacidad de pensar, hablar y actuar a través de modelos para comprender, explicar y predecir el cambio químico.

4. Objetivos específicos	<p>Desarrollar la capacidad del alumnado para que a través de modelos sea capaz de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Describir en términos generales las principales características del cambio químico. • Explicar las características del fenómeno de la combustión. • Explicar la transformación de la materia pasando de la explicación macroscópica a la explicación microscópica. • Representar el cambio químico mediante la ecuación química. • Explicar la Ley de la conservación de la materia. • Desarrollar competencias cognitivo-lingüísticas para comunicar sus modelos. • Aplicar los modelos construidos para interpretar fenómenos relacionados, por ejemplo: la respiración.
5. Desglose de Contenidos	
Conceptuales	<p>Durante el desarrollo de la secuencia, el estudiante habrá de incorporar parte del siguiente vocabulario correspondiente al lenguaje de la química:</p> <p>Cambio químico, materiales, sustancias, combustión, combustible, comburente, energía de activación, colisiones moleculares, reactivos, productos, átomos, moléculas, enlaces, masa, compuestos orgánicos, compuestos inorgánicos derivados del petróleo, hidrocarburos, biocombustibles, metano, oxígeno, dióxido de carbono, oxidación rápida, oxidación lenta, combustión completa, combustión incompleta, símbolos, fórmulas, ecuación química, ley de la conservación de la materia.</p>
Procedimentales	<p>Al poner en práctica la secuencia diseñada y durante la actividad científica escolar, se espera que los estudiantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realicen actividades experimentales para observar el fenómeno en el nivel macroscópico. • Describan las características de los materiales combustibles. • Identifiquen la energía de activación para iniciar el proceso de la combustión.

	<ul style="list-style-type: none"> • Describan las características de la reacción química, –en particular de la combustión–. • Identifiquen los productos de la combustión al quemar una vela. • Representen la reacción química mediante símbolos y fórmulas –ecuación química–. • Elaboren un modelo tridimensional para representar la reacción química de combustión del metano. El modelo puede ser físico o virtual (simulación). • Comuniquen los modelos construidos.
Actitudinales	<p>Durante el desarrollo de la secuencia didáctica, los estudiantes deberán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Respetar y tolerar las ideas de sus compañeros. • Desarrollar autonomía para la realización de actividades científicas. • Fomentar la toma de acuerdos y valorar los consensos tomados de manera grupal. • Trabajar en forma colaborativa.
6. Aprendizajes esperados	<p>De acuerdo con SEP (2011, p.68), al terminar la secuencia didáctica se espera que los estudiantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Describan algunas manifestaciones del cambio químico (emisión de luz, o calor, cambio de color o de forma). • Identifiquen las propiedades de los reactivos y los productos en una reacción química. • Representen el cambio químico mediante una ecuación e interpreten la información que contiene. • Verifiquen la correcta expresión de una ecuación química sencilla con base en la Ley de la conservación de la materia. • Identifiquen que una reacción de combustión es exotérmica en donde se desprende energía en forma de calor.
7. Destinatarios	Estudiantes de tercer grado de secundaria (14-15 años), que cursan la asignatura de química.
8. Temporalidad	8 sesiones, cada una de 45 minutos aproximadamente.
9. Materiales	Fotocopias por alumno y por equipo, insumos y materiales de laboratorio, cuaderno de notas, bolígrafo, lápices, cartulinas, esferas de unicel, pintura no tóxica base agua “vinci”, palillos de madera.

10. Medidas de seguridad	Usar bata de laboratorio, no probar, oler o tocar las sustancias que se utilizan en el laboratorio escolar, contar con franela húmeda y agua corriente.
--------------------------	---

Tabla 5.2 Planeación docente.

Después de realizada la planeación docente, en los siguientes párrafos presento cada una de las actividades a realizar durante el desarrollo de la secuencia en la actividad científica escolar.

5.4.2 Actividades de inicio o exploración (Fase 1)

A partir de la revisión de las ideas previas reportadas en la literatura, en esta sección se pretende encontrar en las respuestas de los estudiantes aquellas ideas que estén relacionadas con la explicación inicial del fenómeno en estudio. Una vez identificadas dichas ideas previas, se han de expresar en términos de entidades, relaciones y condiciones para inferir el Modelo Explicativo Inicial (MEI) del alumnado.

Descripción de la actividad³⁷: Sujetar una hoja de papel con unas pinzas para crisol, –también conocidas como pinzas de seguridad– y acercar un cerillo sin encender. Acto seguido, preguntar a los estudiantes ¿por qué no se quema el papel?

Posteriormente, encender el cerillo y acercarlo a la hoja de papel. Pedir al alumnado que observe lo que sucede y plantear las siguientes preguntas: ¿Qué pasa?, ¿Cómo pasa?, ¿Por qué pasa? (Roca, 2005). Con esta actividad se identifica el Modelo Explicativo Inicial (MEI) de los estudiantes, que también hemos llamado ME₁ en la secuenciación de los contenidos. En esta actividad se parte desde el nivel macroscópico, de lo simple y concreto, con el objeto de avanzar en forma gradual hacia lo complejo y abstracto en el nivel submicroscópico y simbólico (Johnstone, 1982, 1991 y 1993). En la tabla 5.3 se especifican las actividades a realizar en esta etapa.

³⁷ Esta actividad se realiza en el laboratorio escolar.

Número de sesiones	Criterios de diseño	Propósito	Tipo de actividad	Material	Instrumento
1	Conocer las ideas previas de los estudiantes para inferir el MEI	Recuperar las ideas previas que los estudiantes tienen sobre el fenómeno de la combustión	1.1 Quemar una hoja de papel 	-Hoja de papel -Pinzas para crisol -Cerillos -Agua (para prevenir incendio y no quemarse en el laboratorio).	Cuestionario Abierto.
	Observar la obtención de energía calorífica y luminosa	Presentar el fenómeno desde el nivel macroscópico	1.2 Observación	Hoja de papel	Elaboración de un dibujo sobre el fenómeno observado
	Introducir el término: energía de activación	Expresar sus ideas previas acerca del fenómeno	1.3 Discusión	Cuaderno	
			1.4 Registro de sus observaciones	Hoja impresa	Bitácora de laboratorio

Tabla 5.3 Actividades de inicio o exploración.

5.4.3 Introducción de nuevos puntos de vista (Fase 2)

En esta etapa, se contemplan 4 actividades que a continuación se describen.

Actividad 2.1³⁸ Se busca identificar qué materiales se queman –combustibles– y cuáles no se queman –incombustibles–. Con esta actividad, los estudiantes se darán cuenta que no todos los materiales son combustibles, conforme se experimenta con cada material debe haber interacción entre el profesor(a) y los estudiantes para describir las características de los materiales combustibles.

³⁸ La actividad se realiza en el laboratorio escolar de manera demostrativa.

Se plantean las siguientes preguntas:

1. De la siguiente lista de materiales, explica ¿por qué algunos se queman con facilidad y otros no?
2. Para que un material o sustancia se queme, ¿necesita encontrarse en un estado de agregación específico?
3. ¿Qué característica crees que deben tener los materiales que sí se queman, es decir que son combustibles?

El profesor(a) da una breve explicación sobre las características de las sustancias combustibles, –de esta forma interacciona con los alumnos– y en plenaria se describen las características del cambio químico, es decir de la transformación de reactivos a productos con sus determinadas entidades, relaciones y condiciones.

Los estudiantes anotan sus observaciones en el cuaderno de trabajo y describen con sus propias palabras las características de los materiales combustibles. De esta forma se introducen los conceptos: sólido, líquido, gas, carbono, orgánico, inorgánico, combustible e incombustible. Con esta actividad se espera que los estudiantes construyan el modelo parcial ME₂.

Actividad 2.2³⁹ Se muestra un cerillo sin encender y se pregunta: ¿Consideras que éste es un material combustible?, ¿Por qué?, ¿De qué tipo de material está hecho?, ¿Por qué piensas que el cerillo no se enciende espontáneamente?, ¿Qué necesita para encenderse?

También se muestra un encendedor y una vela sin encender y se plantean las mismas preguntas. Los estudiantes escriben en su cuaderno las preguntas planteadas y las contestan en equipos. Posteriormente el profesor solicita a un alumno que encienda el cerillo, a otro que encienda el encendedor y por último a otro que encienda la vela. Se discute con el alumnado sobre la energía de activación y se concluye que es necesaria para que la reacción de combustión inicie. Los estudiantes anotan sus observaciones en su cuaderno y expresan que durante la combustión se genera energía calorífica y luminosa. Se espera que los estudiantes construyan el ME₃.

Actividad 2.3⁴⁰ Se fija una vela en un plato extendido, se enciende y en seguida se le coloca invertido un vaso de vidrio. Los estudiantes observan, escriben y dibujan lo que sucede.

El profesor(a) plantea las siguientes preguntas:

- a) ¿Por qué se apaga la vela?
- b) ¿De qué sustancia química está compuesto el humo que se forma?
- c) ¿Observas la formación de vapor de agua en las paredes del vaso?

³⁹ Esta actividad puede realizarse en el aula o en el laboratorio escolar.

⁴⁰ La actividad se desarrolla en equipos en el laboratorio escolar.

Entre el profesor y los estudiantes concluyen que la vela se apaga porque se termina el oxígeno presente en el aire encerrado en el vaso invertido, que el vapor de agua es un producto de la reacción química de combustión y se retoman las entidades, relaciones y condiciones del fenómeno. Se espera que los estudiantes construyan su modelo parcial ME₄, en donde se incorporan las entidades: reactivos, oxígeno, productos, dióxido de carbono y vapor de agua.

Actividad 2.4⁴¹ En esta actividad se presenta al alumnado la ecuación química con la que se representa el cambio químico en el nivel simbólico, se describen las características de la misma y se explica cómo se comprueba matemáticamente que sí se cumple con la Ley de la conservación de la materia. Para ello se determina la cantidad de átomos que tiene cada molécula tanto en los reactivos como en los productos y se observa que la misma cantidad de átomos que participan en la reacción como reactivos, es la misma cantidad que se tiene como productos; por lo tanto, se cumple la ley de la conservación de la materia enunciada por Antoine-Laurent Lavoisier: *“La materia no se crea ni se destruye, sólo se transforma”*. Con esta actividad se espera la construcción del modelo parcial ME₅ por parte de los estudiantes y por lo tanto expresar el fenómeno de manera simbólica.

Las actividades propuestas se diseñaron con los criterios aportados por el MCEA para que el alumnado construya poco a poco un nuevo modelo explicativo para dar cuenta del cambio químico (Ver tabla 5.4).

⁴¹ Esta actividad se realiza en el aula y se emplea el pizarrón.

Número de sesiones	Criterios de diseño	Propósito	Tipo de actividad	Material	Instrumento
4	<p>Interaccionar con combustibles sólidos, líquidos y gases</p> <p>Conceptos: sólidos, líquidos, gases, carbono, orgánico, inorgánico, combustible, incombustible</p>	Distinguir los materiales combustibles de los que no lo son	<p>2.1 “No todo puede quemarse”</p> <p>Conforme se experimenta con cada material se determina si es combustible o no y se analizan sus características</p> <p>Tratar de quemar diversos materiales: Papel, piedra, madera, alcohol, carbón, plástico, metal, gas del encendedor.</p> 	Roca, metal, madera, azúcar, agua, sal, gas del encendedor, alcohol, carbón, unicel, papel.	Hoja libre. En el cuaderno de trabajo, describir con sus propias palabras las características de las sustancias combustibles y contestar las preguntas planteadas.
	<p>Analizar e introducir la entidad energía de activación.</p>	<p>a) Comprender qué es la energía de activación y por qué es necesaria para iniciar la reacción.</p> <p>b) Observar la energía luminosa y calorífica que se generan durante la reacción.</p>	<p>2.2 “¿Qué onda con la energía?”</p> 	Caja de cerillos	Cuestionario abierto
	<p>Apreciar a la entidad oxígeno como indispensable para que la reacción se lleve a cabo; agua y dióxido de carbono como productos de la reacción.</p>	<p>Observar en el nivel macroscópico los productos de la reacción para representarlos más adelante en el nivel simbólico y sub-microscópico.</p>	<p>2.3 La combustión de una vela</p> <p>Material: 1. Un plato extendido 2. Una vela 3. Un vaso de vidrio 4. Cerillos</p> <p>Montaje: 1. Fijar la vela en el plato 2. Encender la vela 3. Colocar el vaso invertido cubriendo la vela. 4. Observar (la llama se apaga, presencia de humo y vapor de agua) 5. Analizar el fenómeno paso a paso para que los alumnos vayan construyendo sus modelos)</p> 	<p>-Un plato extendido</p> <p>-Una vela</p> <p>-Un vaso de vidrio</p> <p>-Cerillos</p> <p>Hoja impresa con los materiales e indicaciones</p>	<p>Bitácora de laboratorio en formato libre.</p> <p>Cuestionario abierto.</p>
	<p>Ecuación química. (Representación simbólica).</p>	<p>Introducir el concepto de conservación de la materia.</p>	<p>2.4 La ecuación química</p> <p>a) Balancear por el método de tanteo la</p>	Hoja con el ejercicio impreso	Hoja impresa con formato diseñado por la profesora.

	Conservación de la materia.	Representar el fenómeno por medio de la ecuación química	siguiente reacción de combustión:		REACTIVOS	PRODUCTOS
	Número y tipo de átomos (Representación sub-microscópica)	Valorar la importancia de la energía que se genera.	$\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ Metano + Oxígeno dióxido de carbono + agua + Energía calorífica y luminosa		1 átomo de C	1 átomo de C
			b) Calcular cuántos átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno se encuentran presentes tanto en los reactivos como en los productos y verificar si se cumple la Ley de la conservación de la materia.		4 átomos de hidrógeno	4 átomos de hidrógeno
					4 átomos de oxígeno	4 átomos de oxígeno

Tabla 5.4 Actividades de introducción de nuevos puntos de vista.

Después de balancear la ecuación, los estudiantes integran las entidades, relaciones y condiciones construidas en los modelos parciales para dar una explicación más completa.

Una vez realizado lo anterior, el profesor(a) da una explicación sobre los electrones de enlace, indica que los átomos se encuentran unidos por atracciones electrostáticas, –explicar este concepto con imanes– decir que con la energía de activación esas atracciones se ven afectadas y se desestabilizan, por lo que se generan nuevas atracciones o enlaces las cuales tienen mayor estabilidad, es decir requieren menor energía para estar unidos, por lo que la cantidad de energía que les sobra se desprende en forma de energía calorífica y luminosa. En esta actividad se espera que los estudiantes construyan el modelo parcial ME₆ con lo cual alcancen el MCEA postulado *a priori*.

5.4.4 Actividades de Síntesis (Fase 3)

En esta etapa los alumnos comunican sus modelos explicativos mediante la elaboración de una maqueta realizada con modelos moleculares a partir de esferas de unicel que ellos mismos pintan o con la elaboración de un cartel realizado en equipo. En la tabla 5.5 se expresan las características de esta etapa.

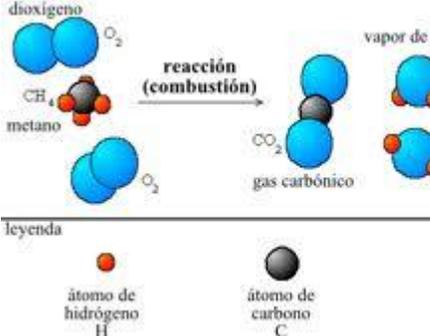
Número de sesiones	Criterios de diseño	Propósito	Tipo de actividad	Materiales	Instrumento
2	Interiorizar los modelos construidos para dar cuenta del cambio químico. Expresar las entidades, relaciones, y condiciones del MCEA	Comunicar de diferentes maneras los modelos construidos	1.1 Elaboración de maqueta. En esta actividad los alumnos interiorizan lo aprendido elaborando modelos tridimensionales con esferas de unicel y palillos. 	-Papel bond - Marcadores de colores -Esferas de unicel -Pinturas -Pinceles -Palillos de madera	Modelos tridimensionales que los alumnos construyeron. (Se cuenta con moléculas elaboradas por los estudiantes)
	Socialización del aprendizaje	Comunicar los modelos construidos	1.2 Exposición oral por equipos con el apoyo de un cartel.	Los modelos y los carteles	Cartel diseñado por cada equipo. (Se cuenta con carteles de los estudiantes)

Tabla 5.5 Actividades de síntesis.

5.4.5 Aplicación o generalización (Fase 4)

Esta actividad consiste en que los estudiantes apliquen los conocimientos acerca del cambio químico, –que han ido construyendo a lo largo del desarrollo de las actividades anteriores–, para relacionar el fenómeno de la combustión, con el de la respiración aerobia de los seres vivos. Es importante aclarar que la respiración se lleva a cabo en la mitocondria de cada célula, es un proceso bioquímico bastante complejo y no se produce luz porque es una reacción de oxidación lenta. La extrapolación de la combustión a la respiración se hará

entonces en los principales aspectos del cambio químico, como son su representación simbólica mediante la ecuación química, su representación sub-microscópica al hablar de átomos y moléculas en donde los reactivos se transforman en productos. La glucosa puede ser considerada el combustible, el oxígeno el comburente y los productos el dióxido de carbono y vapor de agua; en ambas reacciones químicas se genera energía y se cumple la Ley de la conservación de la materia, por mencionar algunas generalidades del cambio químico.

Para llevar a cabo la actividad de aplicación o generalización, se procedió de la siguiente manera:

1. Preparar 100 mL de solución de hidróxido de calcio al 10%, Ca(OH)_2
2. Etiquetar 4 tubos de ensayo con los números del 1 al 4.
3. Colocar 10 mL de la solución de preparada Ca(OH)_2 en cada tubo de ensayo.
4. Adicionar una gota de fenolftaleína en cada uno de los tubos, la solución se torna de un color rosa mexicano.
5. El tubo 1 se llamará “testigo”.
6. En el tubo 2 se introduce el gas formado durante la combustión de la vela, el cual se aspira con una jeringa.
7. En los tubos 3 y 4 se introduce el extremo de un popote en la solución y se solicita a dos alumnos que soplen a través del otro extremo del popote, cada uno en un tubo.
8. El color de la solución en el tubo 2 cambia de rosa mexicano a transparente y se observa turbia por la presencia de carbonato de calcio –de color blanco– formado a partir del dióxido de carbono producto de la combustión de la vela.
9. La coloración de la solución contenida en los tubos 3 y 4 también cambia de rosa mexicano a transparente y se observa turbia por la presencia de carbonato de calcio formado a partir del dióxido de carbono que cada alumno sopló en el tubo. El dióxido de carbono se produjo durante la combustión de la vela y también durante la respiración, –combustión, (oxidación), de la glucosa en el cuerpo humano–.
10. La solución del tubo 1 “testigo” permanece de color rosa, ya que no se le adicionó dióxido de carbono. En la tabla 5.6 se expresan las características del diseño de esta actividad.

Número de sesiones	Criterios de diseño	Propósito	Tipo de actividad	Material	Instrumento
1	<p>Aplicar el modelo explicativo logrado al abordar el fenómeno de la combustión</p> <p>Relacionar las entidades, relaciones y condiciones del modelo logrado con el modelo de la respiración</p>	<p>Aplicar el modelo construido en otro fenómeno relacionado .</p> <p>Relacionar con lo que pasa en el cuerpo humano</p>	<p>1. LA RESPIRACIÓN</p> <p>REACTIVOS PRODUCTOS $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{Energía}$ Glucosa Oxígeno Dióxido de Agua carbono</p> <p>Reactivos: Combustible = Glucosa</p> <p>Comburente = Oxígeno</p> <p>Productos: Dióxido de carbono, Vapor de agua y energía (36 ATP⁴²)</p> <p>Los 36 ATP proporcionan la energía calorífica que mantiene la temperatura corporal.</p>	<p>Tubos de ensayo</p> <p>Solución de hidróxido de calcio al 10%, Ca(OH)₂</p> <p>Jeringa sin aguja</p> <p>Popotes</p> <p>Fenolftaleína</p> <p>Hojas impresas con la descripción de la actividad.</p>	<p>Cuestionario impreso, abierto.</p>

Tabla 5.6 Actividades de aplicación o generalización.

⁴² 36 ATP se refiere a 36 moléculas de Adenosín Tri Fosfato las cuales son altamente energéticas y se producen durante el proceso de la respiración.

5.5 Pilotaje de la secuencia didáctica

En una primera etapa se llevó a cabo un pilotaje con el fin de obtener información y revisar la pertinencia o el alcance de las actividades diseñadas. En los siguientes párrafos se presenta una mirada de este pilotaje. Los resultados de investigación que se presentan en el siguiente capítulo corresponden a la implementación definitiva que fue posterior al pilotaje.

El pilotaje se aplicó a un grupo de 36 alumnos entre 14 y 15 años de edad, del grupo 3E en marzo del año 2014. La Escuela Secundaria Diurna No. 195 “Tlamachihuapan”, turno matutino, permitió que se llevara a cabo la aplicación de dicho trabajo en sus instalaciones. Este centro educativo se localiza entre la calle Tizimín y Celestum, s/n, en la alcaldía de Tlalpan de la CDMX.

Originalmente la secuencia se había programado para 10 sesiones, pero cabe mencionar que no alcanzó el tiempo para realizarlas debido a que eran demasiadas actividades. Por lo tanto, se disminuyó el número de las mismas y la secuencia se aplicó de manera definitiva en 8 sesiones, (ver anexo 1). En la tabla 5.7 se enlistan las actividades diseñadas originalmente.

No de sesión	Actividades programadas	Fase de la secuencia
1	Proyección de video sobre la combustión	Inicio o exploración
2	Quemar una hoja de papel	Introducción de nuevos puntos de vista
3	No todo puede quemarse	
4	Qué onda con la energía	
5	La combustión de una vela	
6	Quemar un cacahuete (biocombustibles).	
7	La ecuación química balanceada	
8	Elaboración de maqueta y cartel	Síntesis
9	Comunico lo aprendido	Aplicación o generalización
10	La respiración	

Tabla 5.7 Actividades diseñadas y aplicadas durante el pilotaje.

Las observaciones que se obtuvieron a partir de este ejercicio fueron las siguientes:

1. De las actividades diseñadas y enlistadas anteriormente, las que se eliminaron de forma definitiva en la secuencia didáctica son las siguientes:

No de sesión	Actividades programadas	Fase de la secuencia
1	Proyección de video sobre la combustión	Inicio o exploración
6	Quemar un cacahuete (biocombustibles).	Introducción de nuevos puntos de vista

2. La secuencia de contenidos se abarcó partiendo del nivel macroscópico hacia el nivel sub-microscópico y simbólico, lo que es congruente con el MCEA.
3. En cada una de las actividades se empleó un instrumento de formato libre para la recuperación de la información: cuaderno de laboratorio, hoja blanca o cartulina.
4. La mayoría de los estudiantes trabajaron motivados porque identificaron el fenómeno y lo relacionaron con aspectos de su vida cotidiana. Esta evidencia puede identificarse en los instrumentos empleados.
5. Es importante presentar a los estudiantes fenómenos que les sean familiares, ya que los identifican con mayor facilidad y además se despierta su interés por el aprendizaje de la química.
6. Cuando los estudiantes trabajaron en equipos, lo hicieron de manera muy organizada. Esto puede deberse a que su profesora titular de la asignatura es muy estricta con la disciplina y la forma de realizar el trabajo por parte de los estudiantes.
7. En la actividad “no todo puede quemarse” algunos estudiantes se sorprendieron al ver que el azúcar sí se quema y la sal no, lo cual se aprovechó para mencionar las características de las sustancias combustibles.
8. En la actividad de “la combustión de una vela” no fue fácil para los estudiantes comprender que como producto de la combustión se había formado agua y varios de ellos mostraron sorpresa.
9. En la actividad “la ecuación química” algunos estudiantes ya sabían balancear por el método de tanteo, porque ya se los había explicado su profesora titular de la asignatura y por lo tanto se les facilitó la comprensión de la *Ley de la conservación de la materia*, pero en otros estudiantes no quedó claro.
10. Al preparar su cartel para la comunicación y explicación del fenómeno en cuestión lo hicieron rápido, de forma colaborativa y en general bien hecho.
11. En la actividad de realizar la maqueta con las esferas de unicel, a los estudiantes les gustó usar pinturas y pinceles; algunos de ellos se atrevieron a sugerirle a su profesora titular que se hicieran más actividades de ese tipo durante el resto del curso.

12. Al realizar la actividad de generalización, lo hicieron de forma organizada, –me percaté que conocían y manejaban de forma correcta los materiales de laboratorio⁴³– Por otra parte, para algunos estudiantes no quedaba claro y uno de ellos preguntó:

“¿Cómo si la respiración es similar a una combustión, no nos quemamos por dentro?”⁴⁴

A lo cual se le explicó como se indica en el pie de nota.

13. Al momento de comunicar sus modelos, algunos estudiantes se ponían muy nerviosos, fue necesario darles un poco más de tiempo para presentar sus explicaciones con mayor seguridad.
14. En la expresión de los modelos parciales de los estudiantes y en el cuestionario que se aplicó al final del pilotaje de la secuencia, se observa –al darle una mirada, ya que no se hizo el análisis exhaustivo– que algunos estudiantes sí se aproximan al MCEA, pero otros siguen manteniendo su modelo inicial o avanzaron poco en la construcción de sus modelos explicativos.

Al observar los resultados del pilotaje, se decidió hacer mayor énfasis en las explicaciones clave de cada actividad para que los estudiantes logren apropiarse de las entidades, relaciones y condiciones que integran al modelo de Reacción química, es decir al MCEA postulado para dar cuenta del cambio químico.

⁴³ Su profesora titular cuenta con la formación de licenciatura en Química de Alimentos de la Facultad de Química (UNAM).

⁴⁴ Fue necesario explicar que: en los seres vivos, las enzimas –catalizadores biológicos– juegan un papel muy importante ya que aceleran o retardan una reacción química. En el caso de la respiración, se trata de una oxidación lenta gracias a que las enzimas controlan la velocidad de la reacción y por lo tanto no es tan rápida como la combustión, lo cual explica que no se generen llamas/fuego o luz (Lehninger, 2014).

“El trabajo del maestro no consiste tanto en enseñar todo lo aprensible, como producir en el alumno amor y estima por el conocimiento, y ponerlo en el camino correcto para aprender y mejorarse cuando así lo desee”.

John Locke

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE LOS DATOS Y RESULTADOS

En el capítulo anterior se presentó la estructura de la secuencia didáctica, desarrollada a partir de los criterios teóricos y metodológicos del MCEA, también se presentaron los ajustes necesarios con base en las observaciones realizadas durante el pilotaje.

Al inicio de este capítulo se presenta la ruta a seguir para analizar los datos obtenidos una vez que se aplicó de forma definitiva la secuencia propuesta, se establecen las categorías de análisis y se explica también la forma en que se obtuvo el Modelo Explicativo Inicial, así como los diferentes modelos identificados. Después se muestra la forma en que se obtuvo el Modelo Científico Escolar Logrado, el cual se comparó con el MCEA para saber en qué medida se logra alcanzar el modelo postulado. En la parte final del capítulo, se presentan las conclusiones en donde se menciona si se cumplieron o no los objetivos planteados en este trabajo y se da respuesta a las preguntas de investigación. Para terminar, se expresan los aportes de esta investigación/intervención, así como las consideraciones finales.

6.1 Aplicación definitiva

La aplicación definitiva de la secuencia didáctica para modelizar el cambio químico a partir del fenómeno de la combustión, se realizó en la misma escuela y mismo turno en que se llevó a cabo el pilotaje, pero en el grupo 3C, integrado por 40 estudiantes entre 14 y 15 años de edad. El trabajo se desarrolló durante el mes de mayo del año 2014.

6.2 Ruta de análisis

Una vez que se aplicó de forma definitiva la secuencia didáctica, procedí a revisar e interpretar la información obtenida –tanto en el pre-cuestionario (instrumento I) como en el

post-cuestionario (instrumento II)– de cada uno de los estudiantes⁴⁵. Estas acciones se describen con más detalle en el apartado 6.3.1 Posteriormente, se establecieron tres momentos para realizar el análisis de la información recabada e inferir los modelos logrados en cada etapa de la secuencia, en la figura 6.1 se ilustran esos tres momentos. Es importante aclarar que en este trabajo se presentan los modelos logrados al final de la secuencia y en qué medida, los estudiantes se aproximaron al MCEA para dar cuenta del cambio químico, por lo que no se revisarán los modelos intermedios.

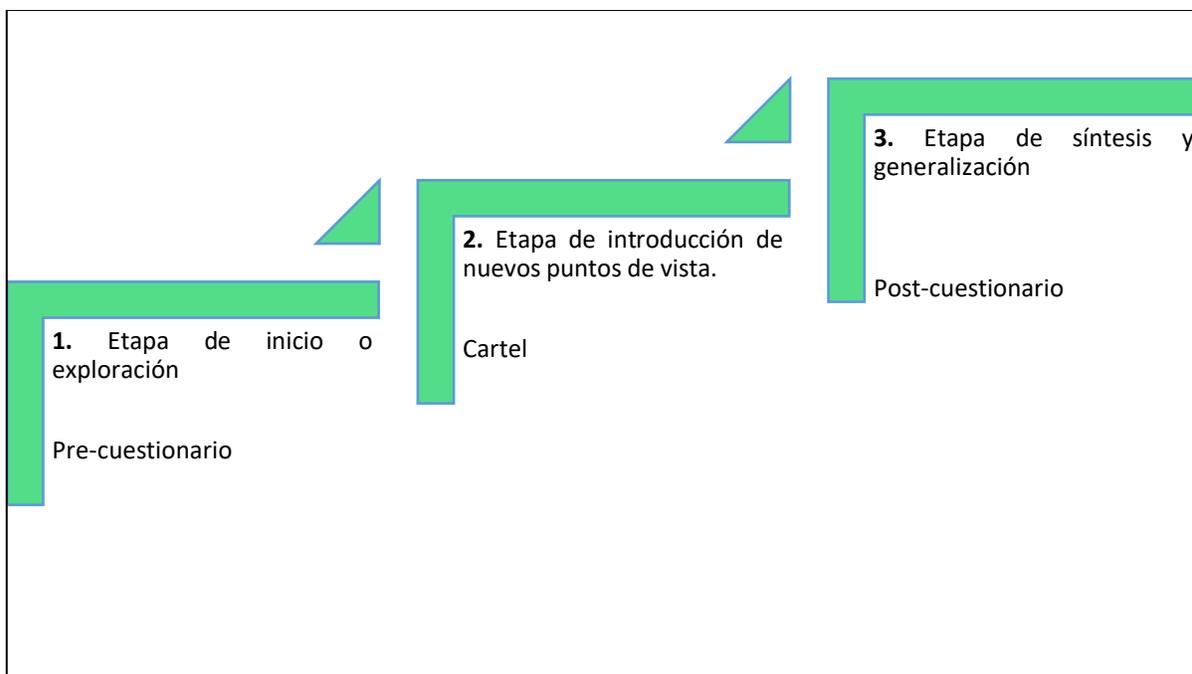


Fig. 6.1 Ruta de análisis.

6.3 Análisis de los datos acumulados

Para realizar el análisis de los datos acumulados se tomaron como base las 5 categorías propuestas por Andersson (1990), las cuales se modificaron para poder expresarlas en términos de modelos, tomando en cuenta tres dimensiones: **entidades**, **relaciones** y **condiciones**.

Dichas categorías se han descrito con anterioridad tanto en el capítulo 2 como en el capítulo 4 y son las siguientes:

- Desaparición

⁴⁵ El pre-cuestionario (instrumento I) y el post-cuestionario (instrumento II) es el mismo instrumento, sólo que el primero se aplicó al inicio de la secuencia y el segundo al final de la misma. En adelante les llamaré de manera indistinta.

- Desplazamiento
- Modificación
- Transmutación
- Interacción química

Además de las categorías anteriores, se propone una sexta categoría denominada **Modelo híbrido**, cuya justificación de la propuesta se describe en el apartado 6.3.1.2

En la tabla 6.1 se presentan las 6 categorías anteriormente mencionadas en donde ya se expresan en términos de modelos, tomando en cuenta las categorías de Andersson (1990) y aportaciones de Prieto y Watson (2007).

Aclaro que dicha tabla contempla las **entidades, relaciones y condiciones** que pueden encontrarse presentes en los modelos de los estudiantes para explicar la combustión, de acuerdo al MCEA y no es para el cambio químico de forma general.

MODELO EXPLICATIVO	ENTIDADES	RELACIONES	CONDICIONES
	Reactivos y productos	Interacciones entre combustible, comburente (oxígeno), energía de activación y fuego/llama	Tipo de material, energía de activación
Desaparición	Reactivos: Material que se quema (madera o papel). Productos: Humos Fuego/llama Cenizas/carbón	- En general los estudiantes representan su modelo en términos macroscópicos, en donde: - El combustible se consume, desintegra o desaparece. - No hay conservación de la masa. - El oxígeno/aire no interviene en el cambio. - El fuego/llama consume al oxígeno/aire. - La masa del combustible disminuye.	Puede haber condiciones o no.
Desplazamiento	Reactivos: Material que se quema (madera o papel). Productos: Humos	- En general los estudiantes representan su modelo en términos macroscópicos, en donde: - Se desprenden sustancias que ya existían en el material combustible (humos, fuego, luz/calor). - El oxígeno/aire no interviene en el cambio.	Puede haber condiciones o no.

	Fuego/llama Cenizas/carbón	- Se trata de un proceso destructivo que puede liberar sustancias procedentes del combustible.	
Modificación	Reactivos: Material que se quema (madera o papel). Productos: Humos Fuego/llama Cenizas/carbón	- En general los estudiantes representan su modelo en términos macroscópicos, en donde: - Una sustancia cambia a una forma diferente, pero sigue siendo la misma sustancia. - La masa se conserva, porque sólo hubo cambio de forma, color o estado de agregación y sigue pesando lo mismo. - Algunas propiedades se conservan. - El oxígeno/aire no están implicados en el cambio. - El proceso es reversible. - La llama/fuego produce la modificación.	Puede haber condiciones o no.
Transmutación	Reactivos: Material que se quema (madera o papel). Productos: Humos Fuego/llama Cenizas/carbón	- En general los estudiantes representan su modelo en términos macroscópicos, en donde: - El combustible se convierte en otra sustancia, en energía o en nada. - El oxígeno/aire, por separado puede convertirse en otro gas, puede ser necesario, pero no interacciona en sentido químico. - La masa puede aumentar, disminuir o no modificarse (porque en el modelo de transmutación cualquier cambio es posible). - Las propiedades no se conservan. - La sustancia puede transmutarse en energía. - No existe interacción entre el combustible y el oxígeno del aire - El oxígeno puede ser considerado necesario para que la combustión tenga lugar o puede no serlo. - El proceso es irreversible. - La llama/fuego es el agente activo del cambio.	Puede haber condiciones o no.

		<ul style="list-style-type: none"> - Para alimentar el fuego, “mantenerlo vivo”, el oxígeno/aire puede ser necesario. - El oxígeno/aire es transmutado por el fuego/llama. - La materia puede transmutarse en calor. - Las llamas contienen combustible, aire o los dos; pero no se consideran interacciones. 	
Reacción química	<p>Reactivos: (Sustancias iniciales)</p> <p>Material o sustancia cuya propiedad es que pueda quemarse (combustible)</p> <p>Oxígeno = comburente (se combina con el combustible)</p> <p>Algo que inicie la reacción (llamada energía de activación: cerillo, encendedor, mechero)</p> <p>Nuevas sustancias (llamadas productos, resultado de la interacción química: dióxido de carbono y vapor de agua).</p> <p>Energía calorífica y luminosa</p>	<p>Los estudiantes expresan el modelo en el nivel</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Macroscópico b) Sub-microscópico c) Simbólico <ul style="list-style-type: none"> - Los productos y los reactivos se combinan químicamente. - Los enlaces se rompen y luego los átomos se reorganizan para formar nuevas moléculas. - La masa se conserva si los estudiantes atribuyen peso a los gases. - Los productos tienen propiedades diferentes a las de los reactivos. - Los estudiantes reconocen al dióxido de carbono como uno de los productos de la combustión. - Los estudiantes representan el cambio químico mediante la ecuación química. - Los estudiantes reconocen que la sustancia combustible y el oxígeno del aire interaccionan y forman parte de los productos de la combustión. - Los estudiantes reconocen que el proceso es irreversible. - Se describen observaciones sobre cambios de energía/calor; pero no se trata de explicarlos. - El fuego o la llama son descritos como evidencias de la reacción química. - La llama contiene al combustible y al oxígeno interaccionando entre sí/reaccionando. 	<p>Que el material sea combustible (contenga carbono en su composición química)</p> <p>Energía de activación para iniciar el proceso (cerillo, chispa, fuente de calor)</p> <p>Presencia de oxígeno como comburente.</p>

Modelo Híbrido	Las entidades pueden ser las presentes en cualquiera de los 5 modelos anteriores	Los estudiantes pueden expresar el modelo en el nivel macroscópico, sub-microscópico y simbólico o en uno solo. Su modelo puede tener relaciones presentes en dos o más modelos anteriormente descritos	Pueden expresar las condiciones establecidas en el MCEA o no
-----------------------	--	--	--

Tabla 6.1 Categorías de análisis en términos de Modelos, para clasificar los Modelos Científicos Escolares de los estudiantes sobre la combustión.

Como ya mencioné anteriormente, al realizar el análisis de los datos acumulados del instrumento I, me fue posible inferir el Modelo Explicativo Inicial, y el análisis del instrumento II, me permitió conocer los modelos alcanzados al final de la secuencia.

En el apartado siguiente, presento la forma en que se analizaron los datos acumulados.

6.3.1 Forma en que se analizaron los datos del instrumento I e instrumento II

La forma en que analicé los datos obtenidos en ambos cuestionarios es como sigue: discerní cada respuesta y la seccioné en partes para identificar las tres dimensiones establecidas en el MCEA: **entidades, relaciones y condiciones**, las cuales me ayudarán a generar los diferentes modelos y a saber qué tanto se aproximan al modelo postulado (MCEA). En cuanto al análisis de los dibujos, centré la atención en la forma en que los estudiantes dibujaron o representaron los materiales (reactivos), presentes antes de la combustión y los productos que dibujaron o representaron después de la misma. Por ejemplo, si dibujaban madera, papel, cerillo o encendedor, o algo que a mi juicio representara al oxígeno del lado de los reactivos; y si dibujaban la llama, humos, cenizas, carbón, vapor de agua o algo que también a mi juicio representara el dióxido de carbono del lado de los productos. Otros aspectos en los que puse especial atención fueron en la forma en que los estudiantes representaban las entidades, relaciones y condiciones tanto en el nivel macroscópico como en el sub-microscópico y simbólico. Por ejemplo, algunos estudiantes representaron al oxígeno/aire con líneas curvadas de color azul y al humo/CO₂ con líneas como espirales de color gris. Muchos de ellos escribieron palabras o enunciados completos ya sea al lado o sobre sus dibujos para reforzar la idea que deseaban expresar.

Aclaro que en el cuestionario se plantearon las preguntas separadas ya que algunas buscan en específico determinadas características del fenómeno, pero en el análisis se tomaron como un todo, porque todas apuntan a identificar modelos. En el anexo 2 se encuentra como

ejemplo un instrumento I (pre-cuestionario) contestado por un alumno y en el anexo 3 se presenta el ejemplo de un instrumento II (post-cuestionario)⁴⁶.

6.3.1.1 Análisis de los datos del instrumento I

Las acciones concretas que se realizaron durante el análisis del instrumento I (pre-cuestionario) son las siguientes:

1. Visualizar las entidades, relaciones y condiciones presentes en cada respuesta.
2. Realizar un análisis disciplinar: desglosar los componentes de la reacción de combustión –reactivos, productos–.
3. Las preguntas 3, 4, 5 y 6 se analizaron de manera conjunta ya que el objetivo de dichas preguntas es identificar las condiciones del fenómeno y la relación entre la llama y el oxígeno.
4. En la respuesta de la pregunta 7 se identificó si los estudiantes tienen presente o no, la idea de la conservación de la materia.
5. Se identificaron las ideas principales de todas las preguntas, y se procedió a inferir un modelo para cada estudiante –Modelo Explicativo Inicial–.
6. La categorización o identificación de los modelos iniciales de los estudiantes, se realizó de acuerdo a las categorías propuestas por Andersson (1990) –adaptadas en términos de modelos– descritas en la tabla 6.1.
7. Se construyó una tabla en donde se categorizó cada pregunta o grupo de preguntas y se expresó el % de estudiantes que presenta un determinado Modelo Explicativo Inicial. Ver tabla 6.14.
8. Se elaboró una tabla en donde se expresa el modelo identificado en términos de frecuencia y porcentaje. Ver tabla 6.15.
9. Se realizó una gráfica de barras en donde se presenta el o los Modelos Explicativos Iniciales identificados en los estudiantes y el porcentaje de alumnos que presenta cada modelo. Ver gráfica 6.1

⁴⁶ Se cuenta con los 40 pre y post-cuestionarios contestados por el alumnado.

6.3.1.2 Análisis de los datos del instrumento II

Para el análisis del instrumento II, se procedió de la misma forma en que se analizó el instrumento I, puesto que como se dijo al inicio del apartado 6.2, ambos instrumentos son iguales y se aplicaron tanto al inicio como al final de la secuencia.

Después de analizar los resultados obtenidos en el instrumento II, se encontró que había enunciados que no correspondían a ninguna de las 5 categorías establecidas; por lo que hubo necesidad de generar una sexta categoría, la cual se denominó **Modelo Híbrido**. Para Justi y Gilbert (2000, p.1002), un modelo híbrido “*es aquel en el que se han fusionado las características de varios modelos distintos*”. Por lo tanto –tomando como base la idea de dichos autores– en este trabajo, **un modelo híbrido es aquel en el que hay presencia de dos o más modelos explicativos diferentes para el mismo estudiante**, ya que unas respuestas pertenecen a una categoría de análisis y otras respuestas a otra u otras categorías y no es posible realizar la identificación o adecuación del conjunto de respuestas a una sola categoría.

Concretamente, las acciones realizadas en esta fase fueron las siguientes:

1. Se repitieron las acciones 1 a 6, realizadas con los datos del instrumento I (pre-cuestionario), pero en este caso, con los datos del instrumento II (post-cuestionario) para identificar el Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL).
2. Se construyó una tabla en donde se expresan en porcentaje cada uno de los diferentes modelos explicativos alcanzados por los estudiantes al finalizar la secuencia:
 - a) Modelo de Desaparición
 - b) Modelo de Desplazamiento
 - c) Modelo de Modificación
 - d) Modelo de Transmutación
 - e) Modelo de Reacción química
 - f) Modelo Híbrido

Ver tabla 6.16.

3. Se elaboró una tabla en donde se reportan los MCEL en términos de frecuencia y porcentaje. Ver tabla 6.17.
4. Se realizó una gráfica de barras en donde se presentan los MCEL por los estudiantes al finalizar la secuencia. Ver gráfica 6.2

5. Se realizó una tabla comparativa de los modelos identificados antes y después de la aplicación de la secuencia diseñada. MEI vs MCEL. Ver tabla 6.18
6. Se hizo una gráfica de barras comparativa del modelo predominante en los estudiantes antes (MEI) y después (MCEL) de la intervención. Ver gráfica 6.3
7. Para finalizar, se realizó una gráfica de barras en donde se aprecia de manera específica el porcentaje de estudiantes que se acercaba al modelo de Reacción Química (RQ), –en su Modelo Explicativo Inicial– y el porcentaje de estudiantes que se aproximó al modelo de Reacción Química –en el Modelo Científico Escolar Logrado– de acuerdo al Modelo Científico Escolar de Arribo postulado. Ver gráfica 6.4.

6.3.2. Resultados del instrumento I

En el apartado anterior he descrito la forma en que se analizaron las repuestas del estudiantado, recabadas en el instrumento I y en el instrumento II; empleados al inicio y al final de la secuencia respectivamente –instrumento descrito en el punto 4.3–. En esta sección, presento ejemplos de los modelos identificados a partir de las respuestas de los estudiantes a las preguntas del instrumento I. El criterio de selección de los casos que a continuación se presentan, ha sido por tratarse de ejemplos representativos de cada una de las categorías reportadas en la tabla 6.1.

6.3.2.1 Ejemplos representativos del Modelo Explicativo Inicial identificado

En los ejemplos que a continuación presento, se observan las respuestas 1 y 2, las cuales se transcriben abajo del dibujo del estudiante en cuestión. Tanto en estas preguntas como en las otras del cuestionario, se busca identificar las **entidades**, **relaciones** y **condiciones** que de acuerdo al punto de vista de los estudiantes sean necesarias para que el fenómeno de la combustión se lleve a cabo. La respuesta a la pregunta 7 también se transcribe abajo de la figura y se pone especial atención en ella porque además de identificar **entidades**, **relaciones** y/o **condiciones** presentes en su modelo, se pretende visualizar si los estudiantes tienen presente o no, *la Ley de la conservación de la materia*.

La transcripción se realizó tal como lo escribieron los estudiantes, por lo que las palabras escritas con faltas de ortografía se encerraron entre corchetes.

Ejemplo de Desaparición: Estudiante No.21

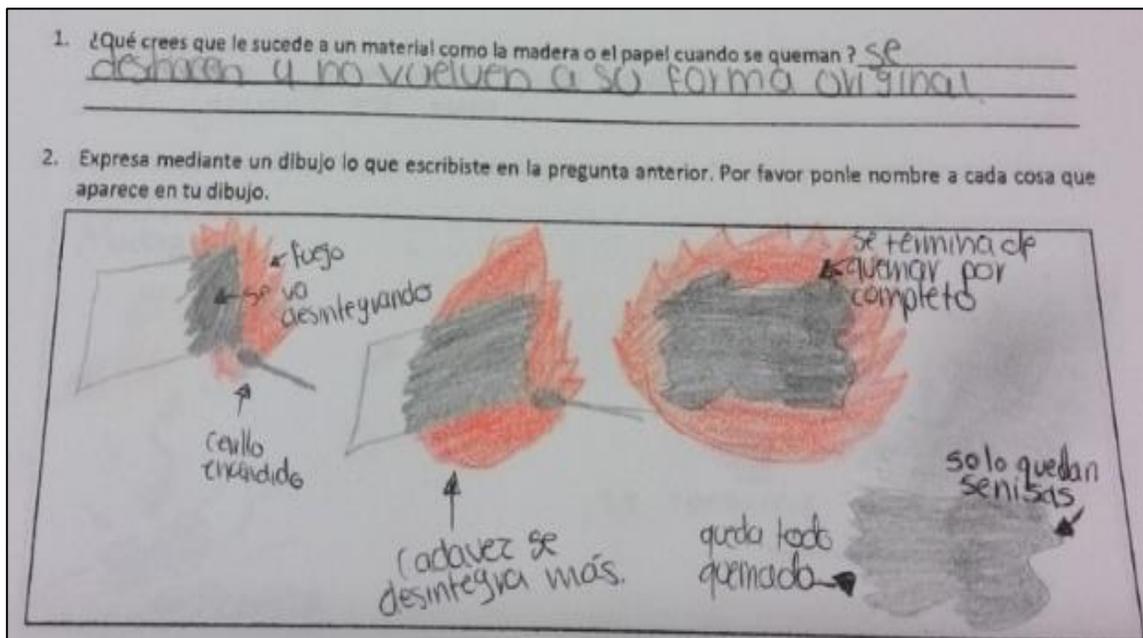


Fig. 6.2 Dibujo del estudiante No. 21.

Las respuestas que da este estudiante a las preguntas 1, 2 y 7 respectivamente son las siguientes:

1. “Se deshacen y no vuelven a su forma original”.
2. “Se va desintegrando, cada vez se desintegra más, se termina de quemar por completo, solo quedan [cenizas]”.
7. “Pesa menos porque se desintegró”.

Recordemos que los ítems 3, 4, 5 y 6 se analizaron como un todo y también apoyan en la búsqueda de **entidades**, **relaciones** y **condiciones** presentes en los modelos explicativos de los estudiantes.

Al analizar cada una de las respuestas de este estudiante, se observa que hace énfasis en mencionar que: durante la combustión, los materiales “se deshacen”, “se va desintegrando”, “sólo quedan cenizas” y “pesa menos porque se [desintegró]”. De acuerdo a las categorías de análisis reportadas en la tabla 6.1 estas respuestas corresponden a un Modelo Explicativo Inicial (MEI), de **Desaparición**.

Las respuestas de todas las preguntas se condensan en una tabla que permite visualizar las **entidades**, **relaciones** y **condiciones** del MEI del estudiante número 21. Ver tabla 6.2.

Entidades	Relaciones	Condiciones
“Hoja de papel”	“Se deshacen”	“Cerillo encendido”
Fuego/llama	“Se va desintegrando”	“Que tengan un material conductor de calor”
Cerillo encendido	“Sólo quedan cenizas”	
Cenizas”	“pesa menos porque se [desintegro]”	

Tabla 6.2 Modelo de Desaparición. MEI inferido para el estudiante No. 21.

Con el mismo formato, –tanto de análisis como de transcripción e inferencia– presento los siguientes ejemplos que corresponden a los **Modelos de Modificación, Transmutación, Reacción Química y Modelo Híbrido** respectivamente. El **Modelo de Desplazamiento** no se encontró presente en algún estudiante de manera mayoritaria, pero sí se identificó en alguno de los modelos híbridos.

Ejemplo de Modificación: Estudiante No. 37

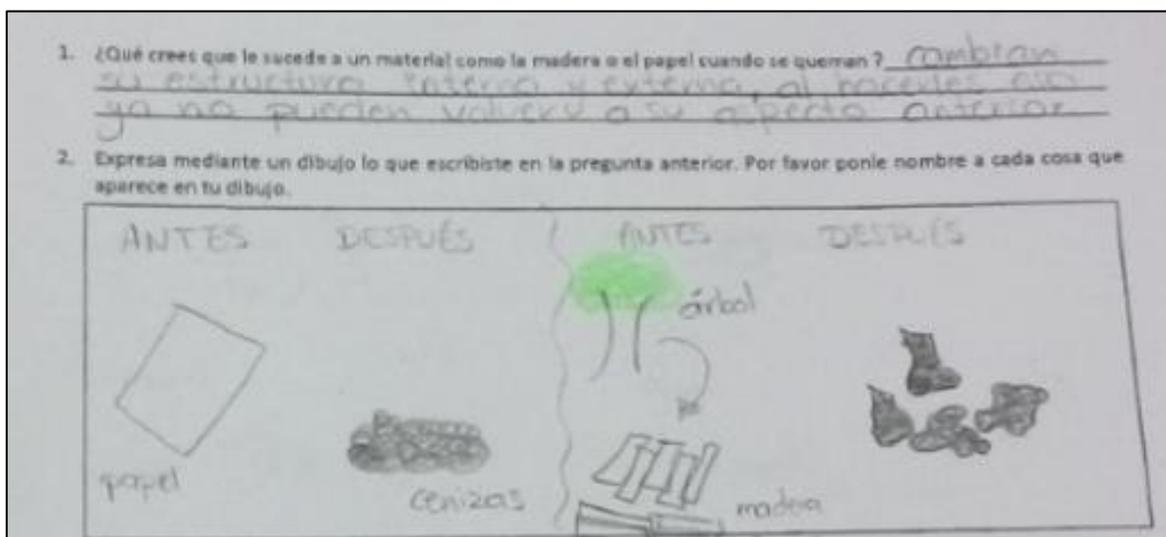


Fig. 6.3 Dibujo del estudiante No. 37.

Respuestas de la pregunta 1, 2 y 7 respectivamente.

1. “Cambian su estructura interna y externa, al hacerles eso ya no pueden volver a su aspecto anterior”
2. “Antes papel después cenizas; Antes árbol, madera, después carbón”

7. “Se quemó el material”

Con las respuestas que da este estudiante, se observa que expresa constantemente que los materiales como el papel o la madera únicamente cambian su forma y “ya no pueden volver a su aspecto anterior”. Con estas respuestas se infiere que su MEI corresponde al **Modelo de Modificación**.

En la pregunta 6: ¿Por qué si se le sopla a una fogata, se enciende más rápido?, se plantea la relación del oxígeno con el combustible, a lo que el estudiante contesta: “*porque aviva el fuego*”. Hago énfasis en esta respuesta, porque identifico que el estudiante tiene **noción de vida para el fuego**.

En la tabla 6.3 se presentan las **entidades**, **relaciones** y **condiciones** identificadas en el MEI del estudiante No. 37.

Entidades	Relaciones	Condiciones
<p><i>“Hoja de papel</i></p> <p><i>Cenizas</i></p> <p><i>Árbol</i></p> <p><i>Madera</i></p> <p><i>Carbón”</i></p>	<p><i>“Cambian su estructura interna y externa”</i></p> <p><i>“Ya no pueden volver a su aspecto anterior”</i></p> <p><i>“Antes papel después cenizas; Antes árbol, madera, después carbón”</i></p> <p>El aire <i>“aviva el fuego”</i></p>	<p><i>“No debe de ser duro”</i></p>

Tabla 6.3 Modelo de Modificación, MEI inferido para el estudiante No. 37.

Ejemplo de Transmutación: Estudiante No. 40

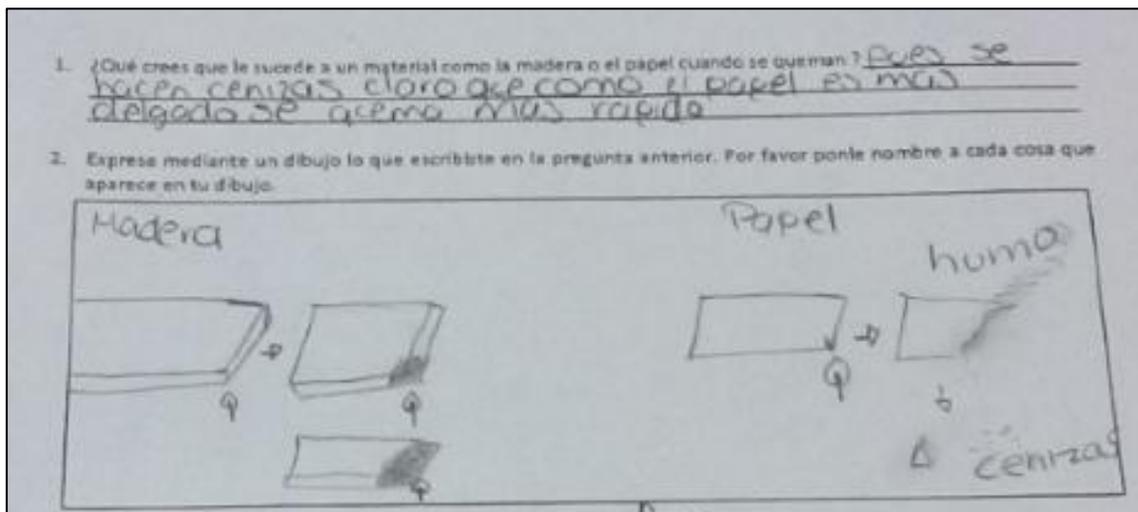


Fig. 6.4 Dibujo del estudiante No. 40.

Respuestas a las preguntas 1, 2 y 7 respectivamente.

1. “Pues se hacen cenizas claro que como el papel es [mas] delgado se quema [mas] rápido”.
2. “Madera, papel, humo, ceniza”.
7. “Pues [bajara] y la Q [ascenderá] al convertirlo en polvo su peso disminuye”.

Al analizar todas las respuestas de este estudiante se observa que en general contesta que los materiales “se hacen o se convierten en cenizas o en polvo”. También se observa que no tiene claro que durante este cambio se cumple con la ley de la conservación de la materia, ya que comenta que al convertirse en polvo el peso del material disminuye. Con este análisis, el MEI que se identifica en el estudiante No. 40 es el **Modelo de Transmutación**.

Con la respuesta de este estudiante a la pregunta 6, también se infiere que tiene **noción de vida para el fuego**; ya que contesta de la siguiente manera:

“el material quemado[esta]caliente y le sobra un poco de fuego y al soplar revive el fuego”.

En la tabla 6.4 se presentan las **entidades, relaciones y condiciones** identificadas en el MEI del estudiante No. 40.

Entidades	Relaciones	Condiciones
“Madera Papel	“Se hacen cenizas” “se convierte en polvo”	“ que este en fuego y que no sea metal”

Fuego	“al convertirlo en polvo su peso disminuye”	“cerillo”
Cenizas		
Humo	“al soplar revive el fuego”	
Cerillo”		

Tabla 6.4 Modelo de Transmutación, MEI inferido para el estudiante No. 40.

Ejemplo de Reacción Química: Estudiante No. 39

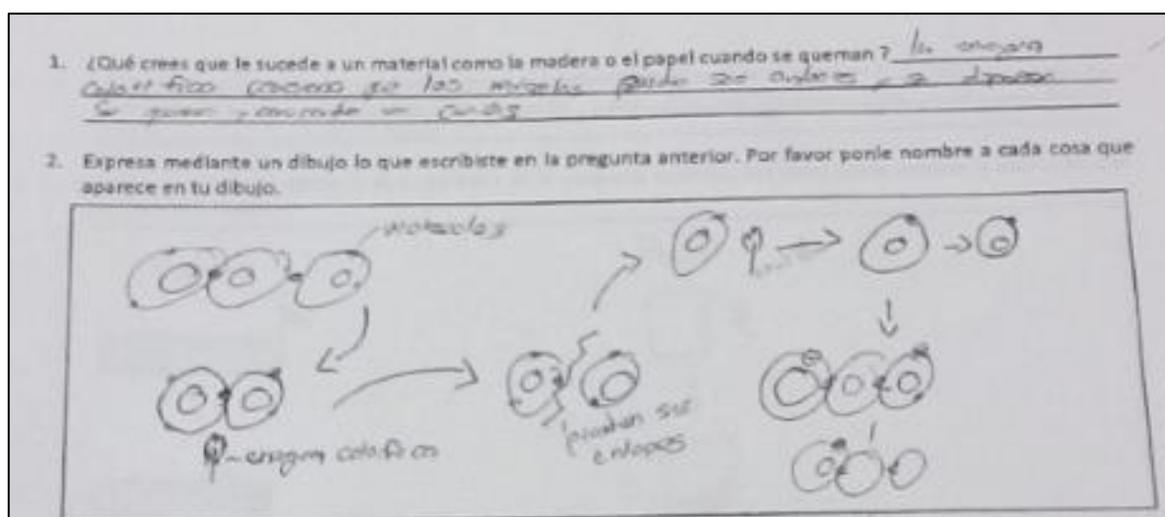


Fig. 6.5 Dibujo del estudiante No. 39.

Respuestas a las preguntas 1, 2 y 7 respectivamente.

1. “La [energía calorífica ocasiona] que las moléculas pierdan sus enlaces y se dispersen se queman y se convierten en cenizas”
2. “Moléculas, [energía calorífica], cerillo, pierden sus enlaces”
7. “Se [oxido], el oxígeno les quita e- y las moléculas son inestables”

Al analizar el conjunto de respuestas de este estudiante, se observa que en las entidades menciona: moléculas, enlaces, electrones, oxígeno y energía calorífica. En las relaciones evoca la importancia de la energía de activación al decir que “la [energía calorífica ocasiona] que las moléculas pierdan sus enlaces”. En las condiciones menciona que es importante la presencia del oxígeno y de la energía calorífica. Por lo tanto, es el estudiante

que más se aproxima al modelo de **Reacción química** antes de la aplicación de la secuencia didáctica y que corresponde a la explicación propuesta en el MCEA. Entonces, el MEI inferido para el estudiante No. 39 es el **Modelo de Reacción química**.

En la tabla 6.5 se condensan todas las respuestas del estudiante No. 39 y se expresan en términos de **entidades, relaciones y condiciones**.

Entidades	Relaciones	Condiciones
<i>“Moléculas Oxígeno Enlaces Electrones (e-) Cerillo encendido Gas Fósforo Energía calorífica Cenizas”</i>	<i>“La [energía calorífica ocasiona] que las moléculas pierdan sus enlaces” “La chispa tiene energía constante” “En el encendedor la llama esta hecha de gas y en el cerillo de [fosforo]”</i>	<i>“Que exista [oxígeno], que este seco o que su superficie no impida el proceso de [combustion]” “[energía calorífica]”</i>

Tabla 6.5. Modelo de Reacción Química, MEI inferido para el estudiante No. 39

Ejemplos de Modelo híbrido: Estudiante No. 22 y estudiante No. 2

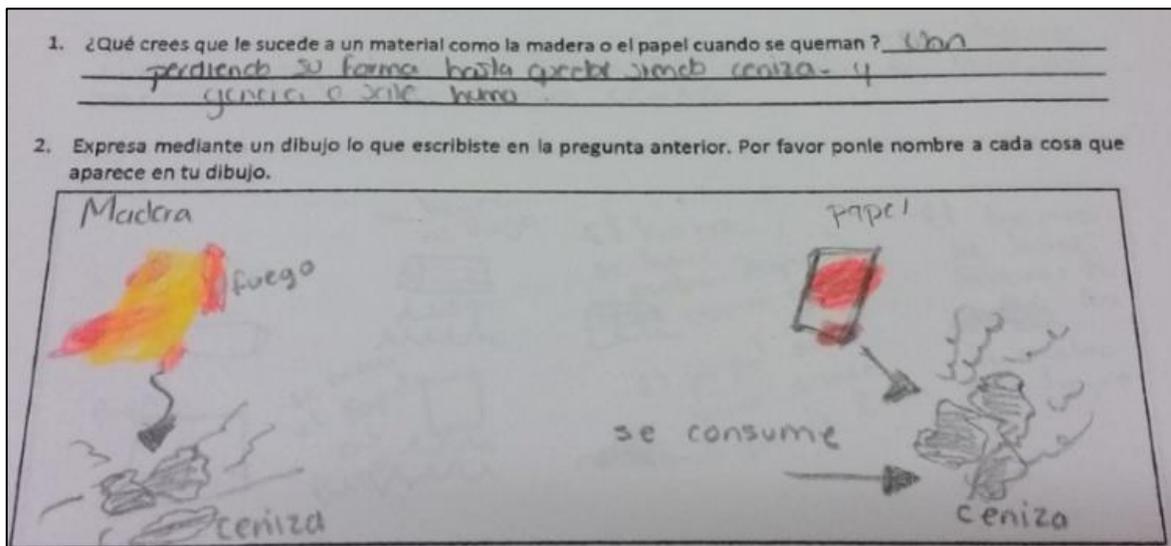


Fig. 6.6. Dibujo del estudiante No. 22.

Respuestas a las preguntas 1, 2 y 7 respectivamente.

1. “Van perdiendo su forma hasta quedar siendo ceniza y genera o sale humo”
2. “Madera, fuego, ceniza, sale humo, se consume”
7. “Pesa menos porque salen humos” “porque se oxida por el oxígeno”

En este ejemplo, se identifica que el estudiante responde a la pregunta 1 con dos respuestas. En la primera parte de la respuesta menciona que los materiales: “*Van perdiendo su forma hasta quedar siendo ceniza*” lo cual corresponde al modelo de **Modificación**, y en la segunda parte dice que “*genera o sale humo*”, lo que corresponde a la categoría de **Desplazamiento** porque da a entender que los humos ya estaban formados dentro de la madera y salen –se desplazan– durante la combustión.

En la pregunta 2, el estudiante responde: “*se consume*” lo cual corresponde a la categoría de **Desaparición** y en la pregunta 7 contesta también con dos respuestas; en la primera indica: “*Pesa menos porque salen humos*” lo cual permite inferir que no tiene clara la idea de la conservación de la materia al decir que “*pesa menos*” y que, en esta parte de su respuesta vuelve a expresar la idea de un modelo de **Desplazamiento** cuando otra vez menciona que “*salen humos*”. Finalmente, en la segunda parte de su respuesta a la pregunta 7 el estudiante dice: “*porque se oxida por el oxígeno*”, permite inferir la idea de combinación con este elemento, lo que corresponde a la categoría de **Reacción Química**.

En este estudiante se identifica la presencia de cuatro modelos distintos, (**Modificación, Desplazamiento, Desaparición y Reacción Química**), para dar cuenta del fenómeno de la combustión, por lo que se infiere que su MEI corresponde a un **Modelo Híbrido**.

En la tabla siguiente, se observan las **entidades, relaciones y condiciones** que expresa el estudiante No. 22. Ver tabla 6.6.

Entidades	Relaciones	Condiciones
<p>“Madera</p> <p>Papel</p> <p>Fuego</p> <p>Cenizas</p> <p>Humos”</p>	<p>“Van perdiendo su forma hasta quedar siendo ceniza”</p> <p>“Se genera o sale humo”</p> <p>“Se consume”</p> <p>“Se oxida por el oxígeno”</p>	<p>“que tenga un material o liquido capaz de poder quemarlo”</p>

Tabla 6.6. Modelo Híbrido, MEI inferido para el estudiante No. 22

Estudiante No. 2

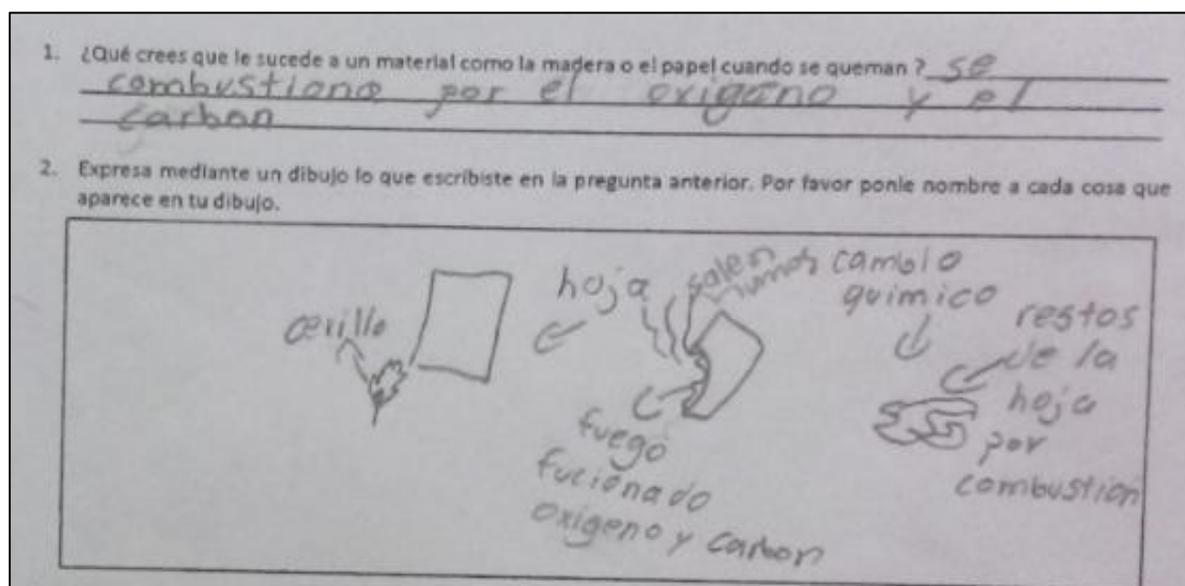


Fig. 6.7. Dibujo del estudiante No. 2.

Respuestas a las preguntas 1, 2 y 7 respectivamente.

1. “se combustiona por el [oxígeno y el carbon]”
2. “cerillo, hoja, [fucionado oxígeno y carbon], salen humos, cambio químico, restos de la hoja por combustión”
7. “Pesa menos por su[perdida]”

En este ejemplo, el estudiante responde a la pregunta 1: “se combustiona por el [oxígeno] y el[carbon]” lo que se aproxima a la categoría de **Reacción Química**.

En la pregunta 2 responde: “[fucionado oxígeno y carbon], salen humos, cambio químico, restos de la hoja por combustion” dichas respuestas corresponden a las categorías de **Reacción Química, Desplazamiento y Modificación** respectivamente.

En la pregunta 7 contesta: “[pesara] menos por su [perdida]” lo que corresponde a la categoría de **Desaparición**.

En este estudiante también encontramos la presencia de cuatro modelos distintos (Reacción química, Desplazamiento, Modificación y Desaparición), para explicar el fenómeno de la combustión; por lo que de igual forma su MEI es un **Modelo Híbrido**.

En la tabla 6.7 se presentan las **entidades, relaciones y condiciones** identificadas en las respuestas del estudiante No. 2.

Entidades	Relaciones	Condiciones
“Hoja	“se combustiona por el oxígeno y el carbon”	“que pueda desprender oxígeno”
Cerillo	“salen humos”	
Fuego	“fuego fucionado”	
Oxígeno	“cambio químico”	
carbon	“pesara menos por su perdida”	
humos		
Restos de la hoja”		

Tabla 6.7. Modelo Híbrido, MEI inferido para el estudiante No 2.

Hasta aquí he presentado los ejemplos representativos de cada uno de los MEI encontrados en 6 estudiantes de un total de 40. En los párrafos siguientes, presento el análisis de las respuestas de los mismos estudiantes en el instrumento II (post-cuestionario), después de haber sido aplicada la secuencia didáctica. Con dicho análisis se determinará si hubo un

avance en el aprendizaje del tema Reacción Química, como se espera y se postula en el MCEA.

6.3.3 Resultados del instrumento II

Con el análisis de las respuestas que los estudiantes expresan en el instrumento II se realizan las siguientes acciones:

1. Inferir el Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL) por los estudiantes.
2. Determinar si hubo un avance en el aprendizaje de la Reacción química.
3. Determinar en qué medida se aproximan al MCEA propuesto.
4. Validar la pertinencia del empleo de la secuencia didáctica propuesta para el aprendizaje de la reacción química en secundaria.

6.3.3.1 Modelo Científico Escolar Logrado

Como mencioné líneas arriba, aquí presento el análisis de las respuestas obtenidas en el instrumento II –de los mismos 6 estudiantes de los cuales se infirió su MEI en el punto 6.3.2.1–. El objetivo es inferir el MCEL y compararlo con su MEI, para determinar si hubo algún avance en el aprendizaje de la reacción química y en qué medida lograron acercarse al MCEA.

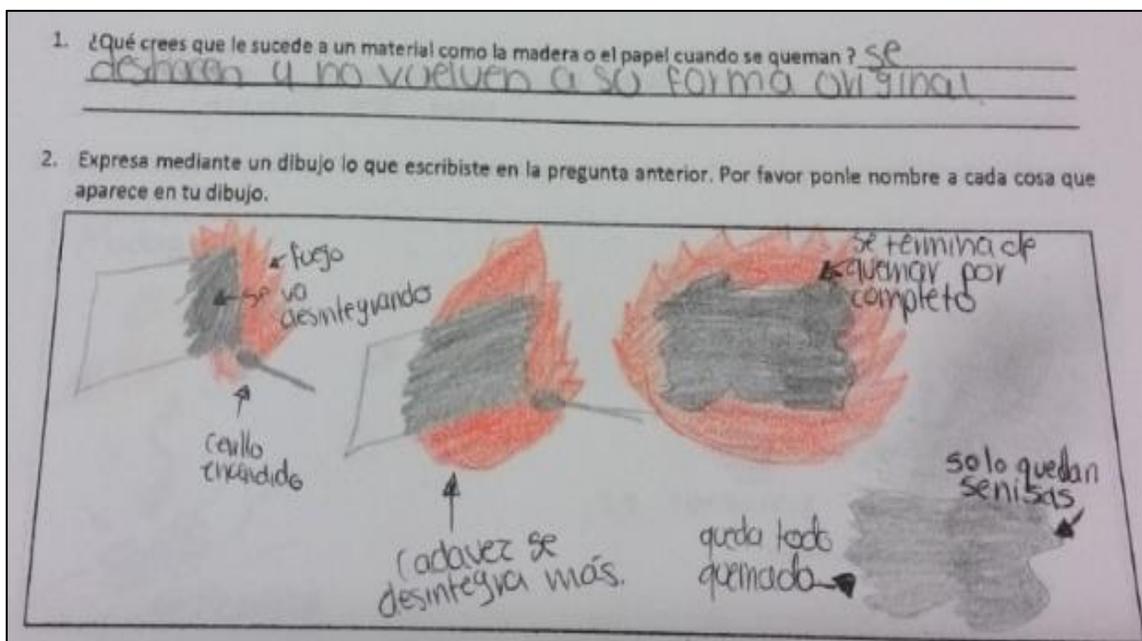
La forma en que se presentan los datos es como sigue: La primera imagen, corresponde al instrumento I –antes– y la segunda imagen corresponde al instrumento II –después–. Acto seguido, se realiza el análisis de manera similar a como se realizó en el punto 6.3.2.1, pero ahora con los datos del instrumento II (post-cuestionario). Es muy importante poner mucha atención a lo que los estudiantes expresan en sus dibujos, ya que a veces dibujan cosas que no pueden decir con palabras.

El objetivo de presentar las dos imágenes es compararlas para visualizar lo que dibujan y escriben antes y después de la secuencia didáctica aplicada.

Ejemplo de cambio de modelo. Desaparición a Reacción Química

Estudiante No. 21

Antes:



Dibujo del estudiante No. 21. Identificado como Fig. 6.2 en el apartado 6.3.2.1 en donde el MEI inferido para este estudiante fue de Desaparición.

Después:

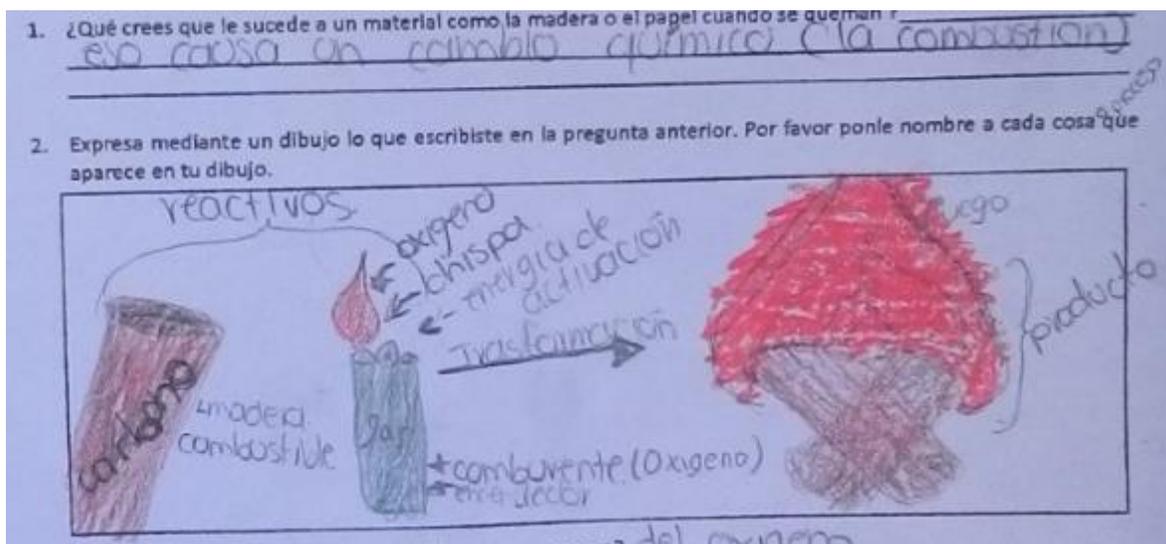


Fig. 6.8. Dibujo del estudiante No. 21 en el instrumento II.

Las respuestas que da este estudiante a las preguntas 1, 2 y 7 respectivamente son las siguientes:

1. *“eso causa un cambio químico (la combustión)”*
2. *“Reactivos, carbono, madera, combustible, [oxígeno], chispa, energía de activación, transformación, comburente:(oxígeno), gas del encendedor, fuego, productos”.*

Respuesta a la pregunta 7: *“se aumenta porque el [oxígeno esta] presente pero no lo vemos”.*

En la respuesta 1, el estudiante menciona que ocurre *“un cambio químico”* y que se trata de *“la combustión”*; lo cual permite visualizar que en esta pregunta contesta en términos de **Reacción Química**.

En la pregunta 2, complementa sus dibujos con muchos textos, separa los reactivos de los productos, en algunos menciona el estado de agregación y la función que tiene cada material o sustancia, por ejemplo: combustible o comburente. En el dibujo, deja ver que el encendedor es necesario y le escribe: *“chispa, energía de activación”*. La respuesta de esta pregunta, también corresponde al **Modelo de Reacción Química**.

En la respuesta a la pregunta 7, cuando el estudiante menciona: *“el [oxígeno esta] presente pero no lo vemos”* me permite inferir que hay un **avance del nivel macroscópico hacia el nivel submicroscópico** y que su modelo corresponde al de **Reacción química**.

Recordemos –como ya lo explicamos con anterioridad– que los ítems 3, 4, 5 y 6 se analizaron como un todo y apoyan en la búsqueda de las **entidades, relaciones y condiciones** presentes en los modelos explicativos de los estudiantes. Con las respuestas obtenidas –que he presentado en este ejemplo– es posible inferir que el MCEL por el estudiante No. 21 es el de **Reacción Química**.

Las respuestas de todas las preguntas se expresan en la siguiente tabla en términos de entidades, relaciones y condiciones.

Entidades	Relaciones	Condiciones
<i>“Reactivos”</i>	<i>“Transformación”</i>	<i>“que contengan carbono”</i>
<i>Productos</i>	<i>“Por el aumento de [oxígeno]”</i>	<i>“chispa”</i>
<i>Madera</i>	<i>“eso causa un cambio químico (la combustión)”</i>	<i>“encendedor”</i>
<i>Combustible</i>		<i>“energía de activación”</i>

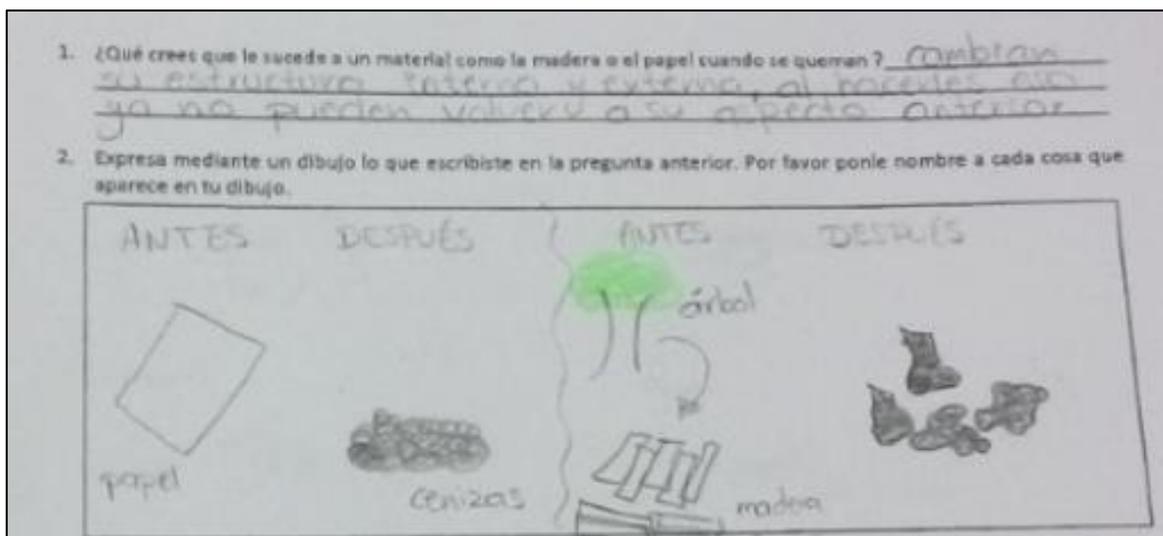
Oxígeno	"aumenta porque el oxígeno esta presente"	
Chispa		
Encendedor		
Energía de activación comburente		
Fuego"		

Tabla 6.8 Modelo de Reacción Química. MCEL por el estudiante No. 21

Ejemplo de cambio de modelo. De Modificación a Reacción Química

Estudiante No. 37

Antes:



Dibujo del estudiante No. 37. Identificado como Fig. 6.3 en el apartado 6.3.2.1, en donde el MEI inferido para este estudiante fue de Modificación.

Después:

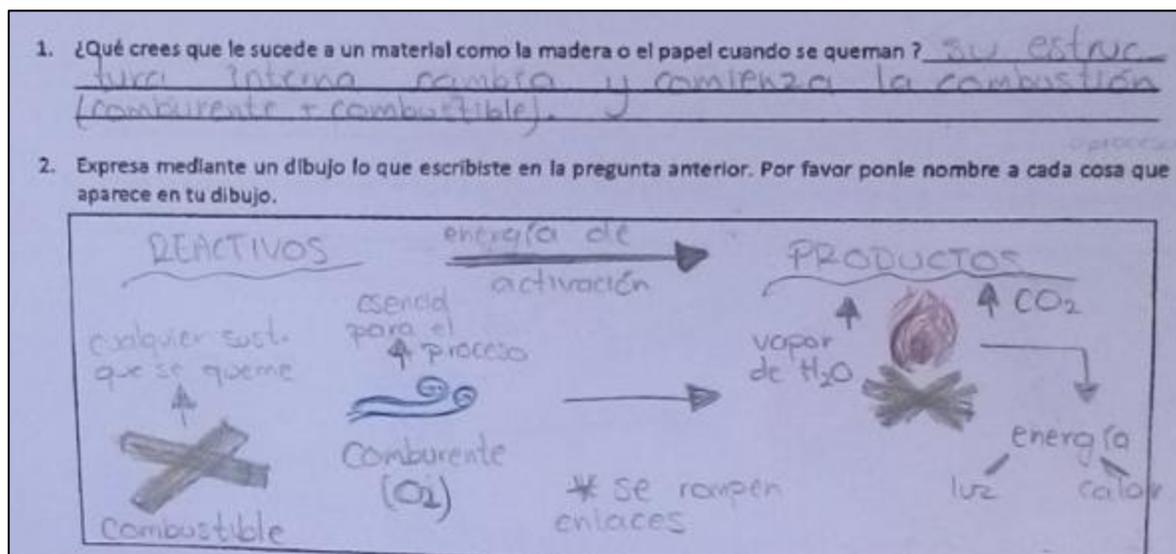


Fig. 6.9. Dibujo del estudiante No. 37 en el instrumento II.

Las respuestas a las preguntas 1, 2 y 7 respectivamente son las siguientes:

1. “su estructura interna cambia y comienza la combustión (comburente + combustible)”
2. “Reactivos, cualquier sustancia que se queme, combustible, comburente (O₂) esencial para el proceso, energía de activación, se rompen enlaces, productos, vapor de H₂O, CO₂, energía, luz calor”

Respuesta a la pregunta 7: “se oxidó y el polvo negro es el hierro + oxígeno”, “pesará + porque se oxidó perdió e-”, “Ley de la conservación de la materia”

Al analizar las respuestas de este estudiante, se identifican, entidades, relaciones y condiciones que corresponden al **Modelo de Reacción Química**. Por otra parte, se observa que **ha avanzado del nivel macroscópico hacia el nivel submicroscópico**, porque en la pregunta 1 contesta: “su estructura interna cambia”, en la pregunta 2 escribe: “se rompen enlaces” y en la pregunta 7 contesta: “el polvo negro es el hierro + oxígeno”. Con esta última respuesta está dando a entender que a **nivel macroscópico** lo ve como un polvo negro, pero en el **nivel submicroscópico** “es el hierro + oxígeno”.

De igual forma hay un avance **hacia el nivel simbólico**, debido a que en la pregunta 2 representa a las moléculas de oxígeno, agua y dióxido de carbono empleando el lenguaje simbólico.

Finalmente, en la pregunta 7 expresa: “*pesará + porque se oxidó perdió e-*”, “*Ley de la conservación de la materia*”, con lo que se infiere que definitivamente el MCEL por este estudiante es el de **Reacción Química**.

Las respuestas de todas las preguntas se condensan en la siguiente tabla y se expresan en términos de **entidades, relaciones y condiciones**.

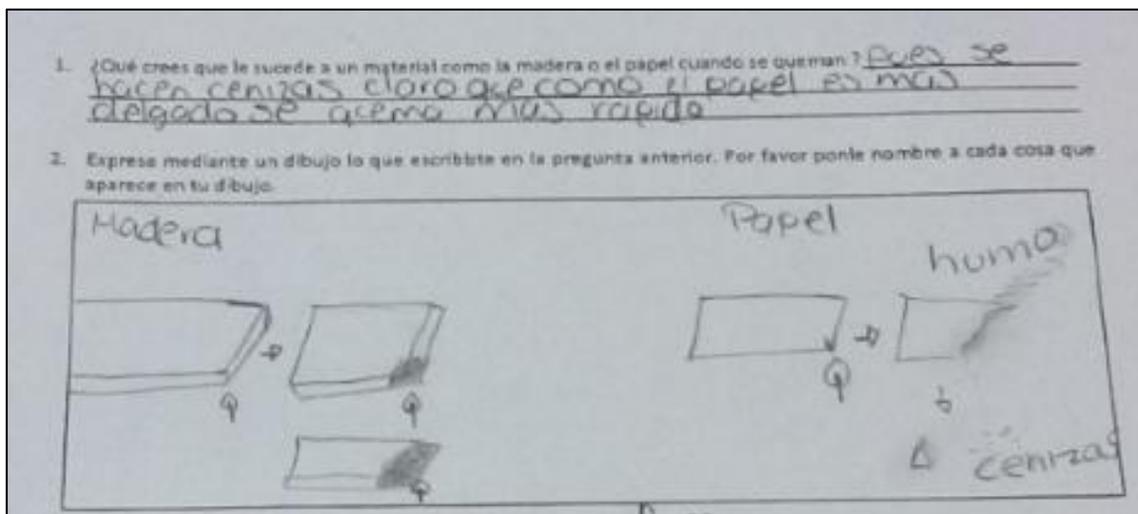
Entidades	Relaciones	Condiciones
“ <i>Reactivos</i> ”	“ <i>Se rompen enlaces</i> ”	“ <i>debe contener carbono</i> ”
<i>Productos</i>	“ <i>su estructura interna cambia y comienza la combustión (comburente + combustible)</i> ”	“ <i>debe existir la presencia de un comburente (oxígeno)</i> ”
<i>Cualquier sustancia que se queme</i>		“ <i>energía de activación</i> ”
<i>Combustible</i>	“ <i>la llama es energía en forma de luz y calor</i> ”	
<i>Comburente</i>		
O_2	“ <i>se oxidó y el polvo negro es el hierro + oxígeno</i> ”	
CO_2	“ <i>pesará + se oxidó perdió e-</i> ”	
<i>Energía de activación</i>		
<i>Vapor de H₂O</i>	“ <i>Ley de la conservación de la materia</i> ”	
CO_2		
<i>energía,</i>		
<i>luz</i>		
<i>calor</i> ”		

Tabla 6.9. Modelo de Reacción Química. MCEL por el estudiante No. 37

Ejemplo de cambio de modelo. De Transmutación a Reacción Química

Estudiante No. 40

Antes:



Dibujo del estudiante No. 40. Identificado como Fig. 6.4 en el apartado 6.3.2.1, en donde el MEI inferido para este estudiante fue de Transmutación.

Después

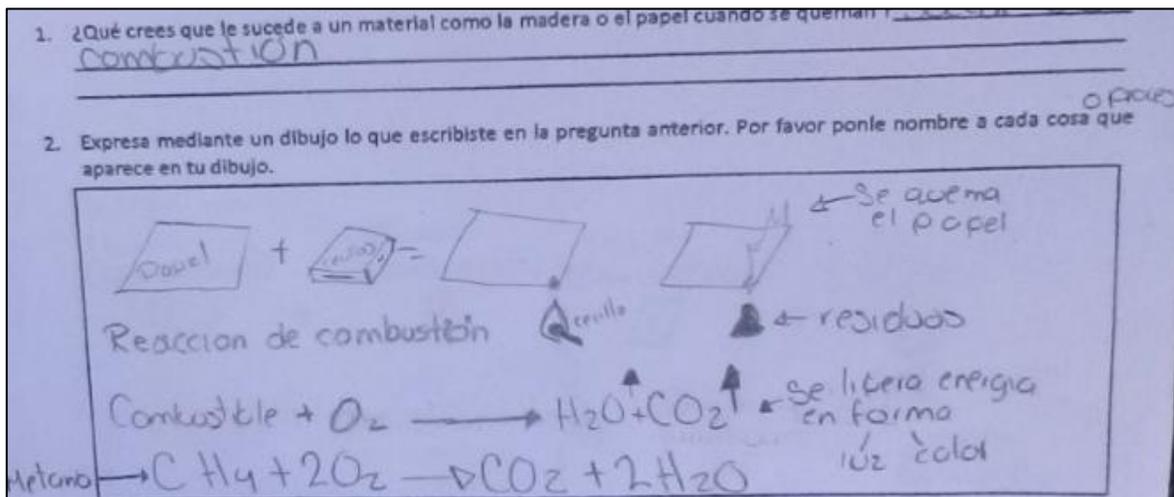


Figura 6.10. Dibujo del estudiante No. 40 en el instrumento II.

Las respuestas a las preguntas 1, 2 y 7 respectivamente son las siguientes:

1. "sucede una combustión"

2. “Reaccion de combustión, cerillos, se quema el papel.

combustible + O₂ → H₂O↑ + CO₂↑ se libera energía en forma de luz y calor, cenizas (residuos).



Respuesta a la pregunta 7: “*pesará lo mismo porque solo cambia su forma pero sigue teniendo las mismas cosas que al inicio*”

Tanto en la pregunta 1 y 2, el estudiante contesta que sucede una reacción de combustión. En la respuesta de la pregunta 2, incluye un cerillo encendido para indicar que se requiere la energía de activación y escribe además de los productos obtenidos, que se “*libera energía en forma de luz y calor*”. Hace uso de símbolos y fórmulas que es el lenguaje de la química, lo que muestra un claro **avance en el nivel simbólico**. Así mismo, expresa el fenómeno con la ecuación química e incluso dicha ecuación está balanceada; lo que muestra que ha interiorizado la *Ley de la conservación de la materia*.

En la pregunta 5, en donde se pregunta sobre las condiciones necesarias para que un material se queme, el estudiante responde: “*debe contener carbono*”, “*que exista la mínima cantidad de energía de activación*”, “*cerillo*”.

En la respuesta de la pregunta 7, el estudiante confirma la Ley de la conservación de la materia cuando contesta: “*sigue teniendo las mismas cosas que al inicio*”, y aunque da una idea de **Modificación** cuando menciona: “*sólo cambia su forma*”, la mayoría de las respuestas del post-cuestionario permiten inferir que su MCEL es el de **Reacción Química**.

Las respuestas de todas las preguntas se condensan en la tabla 6.10, expresadas en términos de **entidades, relaciones y condiciones**.

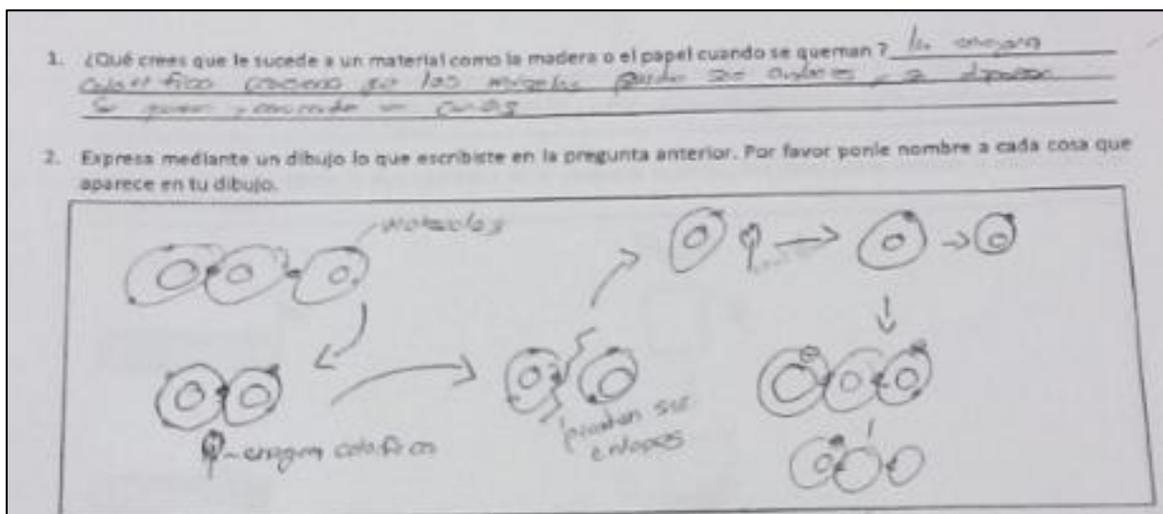
Entidades	Relaciones	Condiciones
“Combustible	“sucede una combustión”	“debe contener carbono”
Comburente	“se quema el papel”	“que exista la mínima cantidad de energía de activación”
Metano (CH ₄)	“pesará lo mismo porque solo cambia su forma pero sigue teniendo las mismas cosas que al inicio”	“cerillo”
O ₂		
CO ₂		
Energía de activación	“Reaccion de combustión”	

cerillo	<p>“se libera energía en forma de luz y calor”</p> $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	
H ₂ O		
CO ₂		
energía,		
luz calor”		

Tabla 6.10. Modelo de Reacción Química. MCEL por el estudiante No. 40.

Ejemplo de Modelo de Reacción química que mejora en su explicación y se mantiene en Reacción Química

Estudiante No. 39



Dibujo del estudiante No. 39. Identificado como Fig. 6.5 en el apartado 6.3.2.1, en donde el MEI inferido para este estudiante fue de Reacción Química.

Después:

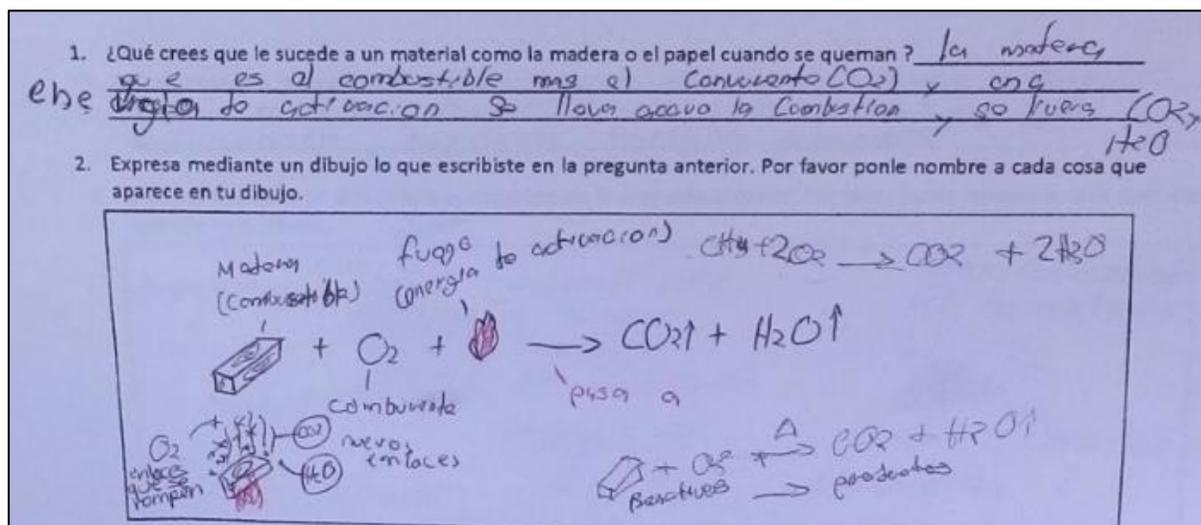


Figura 6.11. Dibujo del estudiante No. 39 en el instrumento II.

Las respuestas a las preguntas 1, 2 y 7 respectivamente son las siguientes:

1. “la madera que es el combustible [mas] el comburente (O₂) y una energía de activación se lleva a cabo la combustión y se libera CO₂ + H₂O”
2. “Madera, combustible, fuego, energía de activación, comburente O₂, enlaces que se rompen, nuevos enlaces, pasa a CO₂↑ + 2 H₂O↑, reactivos a productos, CH₄ + 2 O₂ → CO₂ + 2 H₂O”.
7. “Se va a oxidar y se genera un polvo negro, por lo que pesa [mas]”

En la pregunta 1 el estudiante menciona **entidades, relaciones y condiciones** que conducen hacia el **Modelo de Reacción Química**.

En la pregunta 2, en el dibujo se aprecia la imagen de la madera –**nivel macroscópico**–, en donde representa las moléculas con símbolos y fórmulas –**nivel simbólico**– y trata de representar con puntitos los electrones de los enlaces que se rompen –**nivel sub-microscópico**– con lo que se visualiza un claro avance en estos niveles de representación de la química. En esta misma pregunta, señala con flechas, que los reactivos se transforman en productos y que están presentes las entidades O₂, CO₂, H₂O, con flechas hacia arriba (↑) indica que se trata de un gas que se desprende y expresa el fenómeno con la ecuación química balanceada; lo que confirma el avance en el nivel simbólico y es posible considerar que ha interiorizado la Ley de la conservación de la materia. En esta pregunta, también menciona entidades, relaciones y condiciones como: “*combustible, comburente, energía de activación, enlaces que se rompen, nuevos enlaces que se forman, combustión, reactivos, productos, fuego, energía*”; establecidas en el MCEA.

En la pregunta 5 indica como condición que los materiales “contengan carbono” y tener la energía de activación chispa o fuego”.

Finalmente con la respuesta de la pregunta 7 “Se va a oxidar y se genera un polvo negro, por lo que pesa [mas]”; se confirma su modelo y que tiene en cuenta la Ley de la conservación de la materia.

Con el conjunto respuestas de este estudiante, es posible inferir que su MCEL es el de **Reacción Química**.

Las **entidades**, **relaciones** y **condiciones** identificadas al analizar todas las preguntas, se reportan en la tabla 6.11.

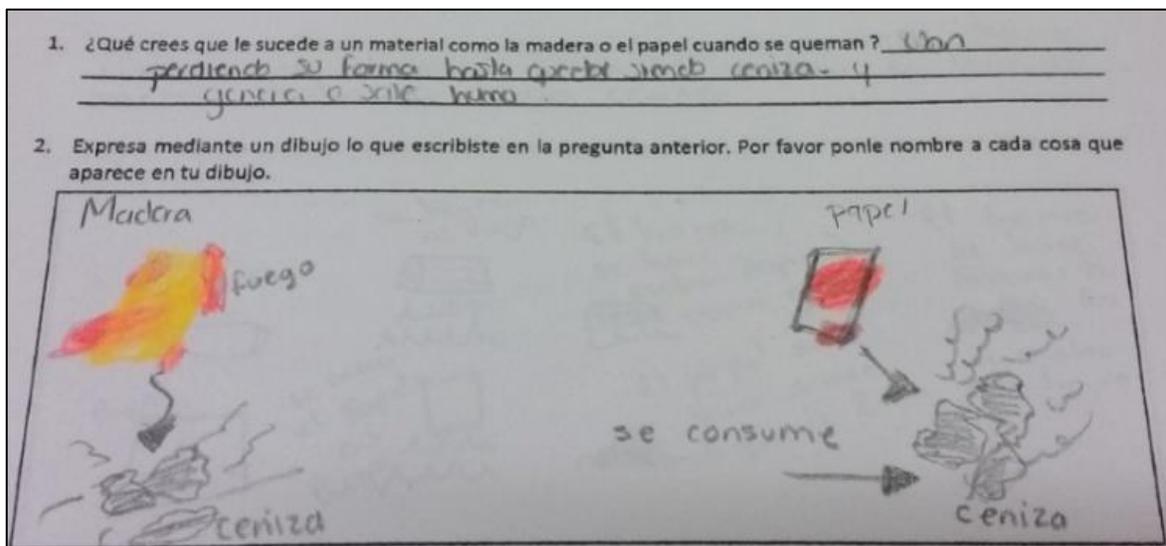
Entidades	Relaciones	Condiciones
“Reactivos Madera Combustible Comburente CH ₄ O ₂ CO ₂ Energía de activación Enlaces que se rompen Nuevos enlaces Productos Fuego H ₂ O CO ₂ Energía”	<p>“se lleva a cabo la combustión y se libera CO₂ + H₂O”</p> <p>“enlaces que se rompen, nuevos enlaces, pasa a CO₂ + 2 H₂O”</p> <p>“Reactivos a productos”</p> $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ <p>“Se va a oxidar”</p> <p>“se genera un polvo negro”</p> <p>“pesa [mas]”</p>	<p>“que contengan carbono”</p> <p>“que no este mojado”</p> <p>“tener la energía de activación”</p> <p>“Chispa o fuego”</p>

Tabla 6.11 Modelo de Reacción Química. MCEL por el estudiante No. 39.

Ejemplo de Modelo Híbrido que se mantiene en esta categoría

Estudiante No. 22

Antes:



Dibujo del estudiante No. 22. Identificado como Fig. 6.6 en el apartado 6.3.2.1, en donde el MEI inferido para este estudiante fue un Modelo Híbrido.

Después

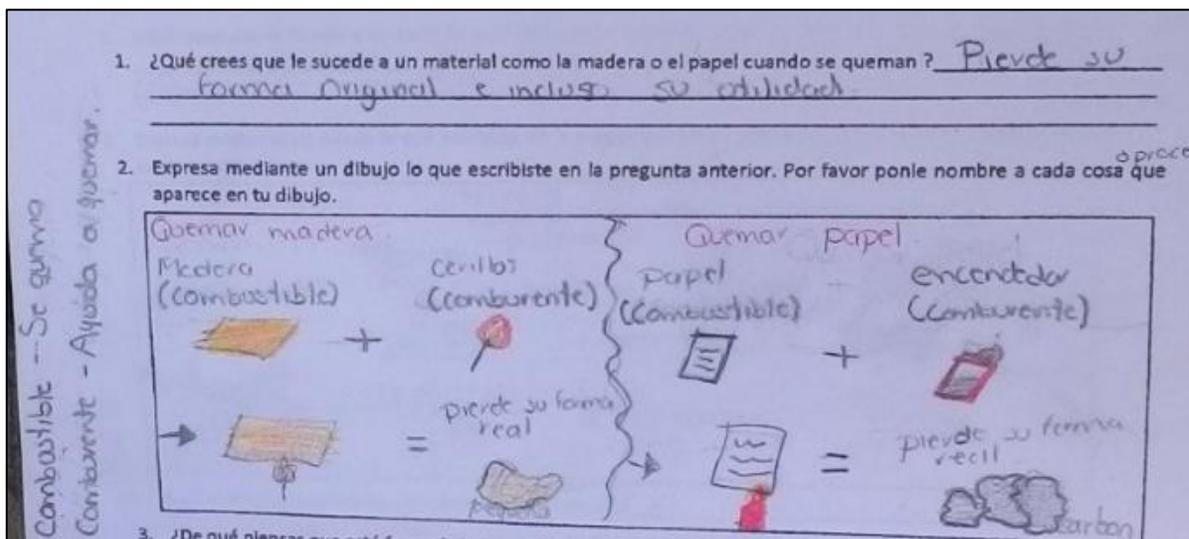


Fig. 6.12. Dibujo del estudiante No. 22 en el instrumento II.

Las respuestas a las preguntas 1, 2 y 7 respectivamente son las siguientes:

1. "pierde su forma original e incluso su utilidad"

2. “Madera (combustible), comburente, cerillos = pierde su forma original, queda madera pequeña” “papel (combustible) + comburente, encendedor, = llama, pierde su forma real, [carbon]”

7. “aumenta el peso”

En la respuesta 1 de este estudiante se lee: “pierde su forma original”, “su utilidad” con lo cual se identifica un **Modelo de Modificación**.

En la respuesta 2, en donde dice: “queda madera pequeña” da la idea que solo cambia o se modifica su tamaño, lo que corresponde de acuerdo a la tabla 6.1 –en donde se establecieron las categorías de análisis– al modelo de **Modificación**. En las preguntas (3, 4, 5, y 6 que corresponden a un ítem) y en la pregunta 7 sus respuestas son en términos de **Reacción Química**.

Al analizar todas las respuestas del estudiante No. 22, se observa que no emplea la ecuación química para representar el fenómeno, no tiene presentes las entidades CO₂ o vapor de H₂O, por lo que considero que **no hubo avance en el nivel simbólico ni en el nivel submicroscópico**. Dos de las respuestas corresponden a la categoría de Modificación y otras 2 a la categoría de Reacción Química, con ello se infiere que el MEI de este estudiante después de la secuencia didáctica corresponde a un **Modelo Híbrido en un 50 %, el cual era Modelo Híbrido 80% antes de aplicar la secuencia**.

Las respuestas de todas las preguntas se condensan en la siguiente tabla en términos de **entidades, relaciones y condiciones**.

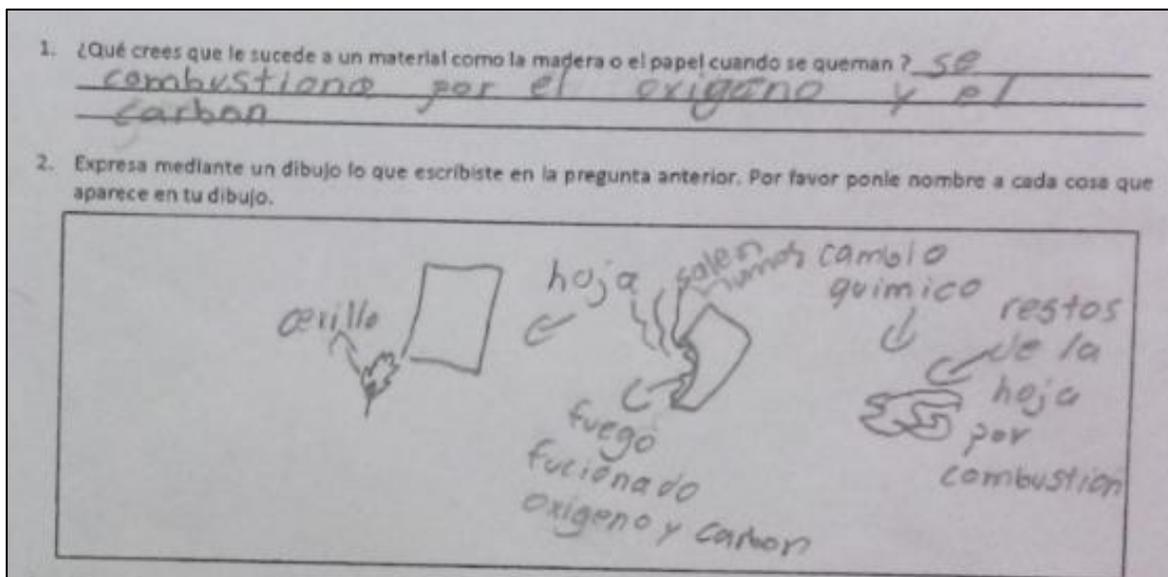
Entidades	Relaciones	Condiciones
Madera	“pierde su forma original”	“que alla un comburente y un combustible”
Combustible	“pierde su forma real”	
Comburente	“combustible + comburente”	“cerillo o encendedor prendido”
Cerillo		
Llama	“generamos más [oxígeno]”	
Madera pequeña	“en la [reaccion] aumenta el [oxígeno]”	
Carbón		
Oxígeno		

Tabla 6.12. Modelo Híbrido. MCEL por el estudiante No. 22.

Ejemplo de Modelo Híbrido que se modifica a Reacción Química

Estudiante No. 2

Antes:



Dibujo del estudiante No. 2. Identificado como Fig. 6.7 en el apartado 6.3.2.1, en donde el MEI inferido para este estudiante fue Modelo Híbrido.

Después:

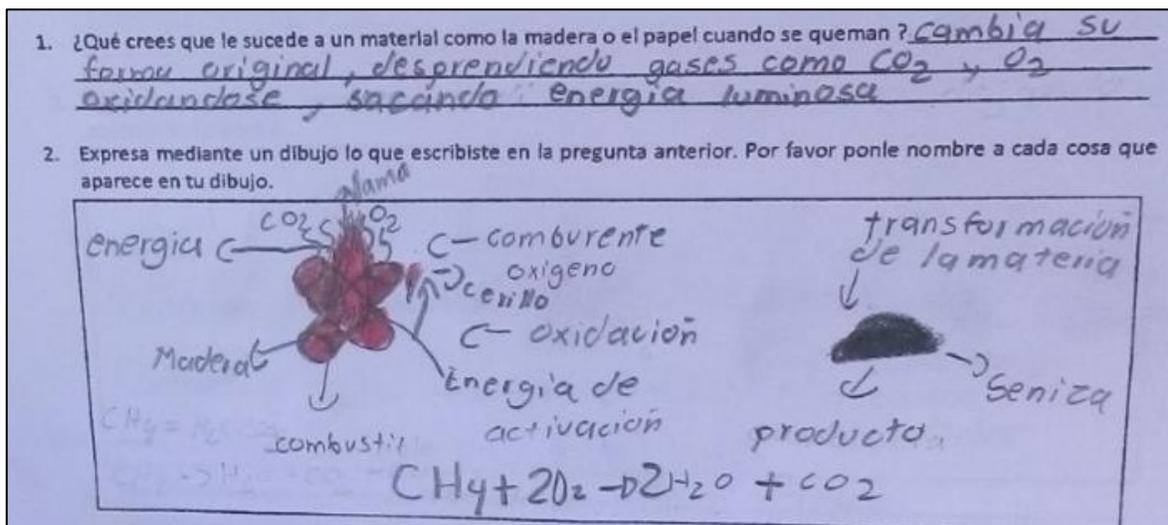


Fig. 6.13. Dibujo del estudiante No. 2 en el instrumento II.

Las respuestas a las preguntas 1, 2 y 7 respectivamente son las siguientes:

1. “cambia su forma original, desprendiendo gases como CO_2 y O_2 [oxidándose] y sacando energía luminosa”
2. “Madera, combustible, llama, energía de activación, comburente [oxígeno], cerillo, oxidación, transformación de la materia, producto, [ceniza],



7. “pesa [mas] por el peso del [oxígeno]”

La respuesta 1 de este estudiante corresponde a un **Modelo Híbrido**, ya que al inicio contesta: “cambia su forma original”, esta idea corresponde a la categoría de **Modificación**, en seguida dice: “desprendiendo gases como CO_2 y O_2 ”, lo que corresponde a la categoría de **Desplazamiento**; continúa expresando: “oxidándose” con lo que hace referencia a la categoría **Reacción Química**; después escribe: “sacando energía luminosa” que otra vez corresponde a la categoría de **Desplazamiento** y finalmente expresa la combustión del metano con la **ecuación química balanceada**: $CH_4 + 2 O_2 \longrightarrow 2 H_2O + CO_2$ lo que sugiere que ha habido un **avance del nivel macroscópico hacia el nivel submicroscópico y simbólico**.

En la pregunta 5 contesta como condición: “que reaccione con el oxígeno” lo que corresponde a **Reacción Química**.

En la pregunta 7, al contestar: lo hace en términos de **Reacción Química** y considera la *Ley de la conservación de la materia*.

Al analizar todas las respuestas, se observa que predominan las explicaciones dadas en términos de Reacción Química, por lo que he considerado que el estudiante No. 2, ha pasado de un **Modelo Híbrido 80%** al modelo de **Reacción Química en un 66%**. Más adelante, en el apartado siguiente, explico la forma en que se calcularon los porcentajes.

Las respuestas de todas las preguntas se condensan en la siguiente tabla en términos de **entidades, relaciones y condiciones**.

Entidades	Relaciones	Condiciones
Madera	<i>“cambia su forma original”</i>	<i>“que reaccione con el oxígeno”</i>
Combustible	<i>“desprendiendo gases como CO₂</i>	
Comburente	<i>y O₂”</i>	
Oxígeno	<i>“oxidándose”</i>	
Cerillo	<i>“sacando energía luminosa”</i>	
Oxidación	<i>“pesa [mas] por el [oxigeno]”</i>	
CH ₄		
O ₂	$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	
CO ₂		
H ₂ O		
Energía de activación		
Transformación de la materia		
Productos		
Energía		
Ceniza		

Tabla 6.13. Modelo de Reacción Química. MCEL por el estudiante No. 2.

Los ejemplos aquí presentados, como indiqué con anterioridad fueron seleccionados por ser representativos de cada una de las categorías de análisis empleadas para esta investigación/intervención. Se realizó una comparación entre los modelos iniciales y los modelos finales de 6 estudiantes, para identificar si hubo una progresión en sus aprendizajes lo cual se revela en sus modelos explicativos. De la misma forma se procedió para analizar los cuestionarios –pre y post– e inferir tanto el MEI como el MCEL de los 40 estudiantes que son el total de la muestra.

6.3.4 Análisis comparativo de los resultados del instrumento I y el instrumento II

Con los resultados obtenidos al analizar los pre-cuestionarios y post-cuestionarios en esta fase del estudio, procedo a realizar la comparación del modelo inferido para los estudiantes antes y después de la aplicación de la secuencia didáctica diseñada, con ello se determinará si hubo un avance en el aprendizaje del tema Reacción Química, como se espera y se postula en el MCEA.

Una vez analizadas las respuestas de los 40 estudiantes se procedió a elaborar una tabla en donde se reportan los diferentes modelos identificados en cada uno de ellos, en términos de porcentajes. Ver tabla 6.14.

Aunque ya se indicó en el capítulo 4 que este estudio es de corte cualitativo, se plantea la forma en la que se procedió para reportar los modelos identificados en los estudiantes en una aproximación de porcentajes.

Como ya he mencionado con anterioridad, las preguntas 3, 4, 5 y 6 se analizan como una sola, entonces en lugar de 7 preguntas sólo tenemos 4 y en cada una de ellas podemos identificar **entidades**, **relaciones** o **condiciones** tanto del MEI – en el instrumento I– como del MCEL –en el instrumento II– de cada estudiante. Así dividimos el 100% entre 4 –que es el número de preguntas– y el modelo presente en cada pregunta tiene un valor de 25%. Ahora bien, si un estudiante expresa más de un modelo en alguna de las preguntas, entonces el total de modelos cambia. Así se deberá dividir el 100% entre el número de modelos identificados en el total del cuestionario

Es decir, si un estudiante presenta dos modelos diferentes en alguna de las preguntas, entonces, se tienen 5 modelos en lugar de 4, y al dividir 100% entre el número de modelos, cada modelo equivale al 20%. Al final se realiza la suma del porcentaje de los modelos presentes en el total del cuestionario.

Para establecer la presencia de un determinado modelo, se tomó como criterio el 50% para que se acepte como un modelo existente.

Por ejemplo: Digamos que las respuestas a las 4 preguntas son las siguientes:

1. Reacción Química (RQ) = 25%
2. Transmutación (T) = 25%
3. Reacción Química (RQ) = 25%
4. Desaparición (Desap) = 25%

Observamos que el modelo de RQ está presente 2 veces, entonces:

$$RQ = 25\% + 25\%$$

$$RQ = 50\%$$

Que el modelo de T está presente 1 vez,

$$T = 25\%$$

Y que el modelo de Desap también está presente 1 vez,

$$\text{Desap} = 25\%$$

Entonces, de acuerdo al criterio de aceptación:

Si RQ = 50 %, el Modelo identificado es de Reacción Química en un 50%

Ejemplo 2

Respuestas:

1. Reacción Química (RQ) y Modificación (M)
2. Transmutación (T)
3. Desplazamiento (Desplz)
4. Desaparición (Desap)

Como aparecen 5 modelos, se divide 100% entre 5 y cada uno tiene un valor de 20%.

Entonces el modelo identificado es: **Modelo Híbrido 100%**

Aclaro que al realizar el análisis de todas las respuestas de los estudiantes identifiqué que algunas respuestas son incoherentes de tal forma que no es posible clasificarlas con ninguna de las categorías establecidas para este estudio –Tabla 6.1–. Estas respuestas se categorizaron como no codificables.

6.3.4.1 Identificación del MEI en el total de la muestra

En la siguiente tabla se expresa el modelo explicativo inferido en cada una de las respuestas de los 40 estudiantes, al final se expresa el MEI identificado, así como el porcentaje en el que se considera está presente dicho modelo.

ALUMNO	PREGUNTA 1	PREGUNTA 2	PREGUNTA (3, 4, 5 y 6)	PREGUNTA 7	MODELO IDENTIFICADO	%
1	RQ	T	RQ	DESAP	RQ	50
2	RQ	M, DESPLZ	RQ	DESAP	HÍBRIDO	80
3	M	DESAP	RQ	DESAP	DESAP	50
4	T	NO CONTESTÓ	T	T	T	75
5	DESAP, M	M, DESAP	T	DESAP	DESAP	50
6	T,M,DESPLZ	T, DESPLZ	T, DESPLZ	T	T	50
7	T	T	DESAP	T	T	75
8	DESAP	DESAP	DESPLZ	NO CODIFICABLE	DESAP	50
9	T	T	T	M	T	75
10	M, T	T, DESPLZ	NO CODIFICABLE	T	T	66
11	T	T	RQ	T	T	75
12	T	T	RQ	T	T	75
13	T, M	T	M	M	M	60
14	M	M	RQ, M	RQ	M	60
15	M	T	M, RQ	DESAP	HÍBRIDO	80
16	DESAP	DESAP, T	RQ	DESAP	DESAP	60
17	T	T	RQ	NO CODIFICABLE	T	50
18	T, DESPLZ	T	RQ	NO CODIFICABLE	T	50
19	DESAP, T	DESAP, T	NO CODIFICABLE	T	T	50
20	RQ, T	RQ	RQ	NO CODIFICABLE	RQ	66
21	DESAP	DESAP	RQ	DESAP	DESAP	75
22	M, DESPLZ	DESAP	NO CODIFICABLE	RQ	HÍBRIDO	80
23	T	T	NO CODIFICABLE	T	T	75
24	T	T	RQ	T	T	75
25	T	T	NO CODIFICABLE	T	T	75
26	RQ	T	RQ	M	RQ	50
27	RQ, T	T, RQ	RQ	T	T	50
28	M	T	DESPLZ	M	M	50
29	DESAP, M	T, M, DESPLZ	RQ	M	M	50
30	NO CODIFICABLE	T, M	RQ	RQ	HÍBRIDO	50
31	DESAP, T DESPLZ	RQ	RQ	RQ	RQ	50
32	M, RQ	M	RQ	M	M	60
33	DESAP, T	T, DESAP	RQ	DESAP	DESAP	50
34	DESAP, T	T	DESPLZ	T	T	60
35	RQ	DESAP	RQ, DESAP	RQ	RQ	60
36	M	M	RQ	NO CODIFICABLE	M	50
37	M	M	NO CODIFICABLE	M	M	75
38	T, DESAP, DESPLZ	T	NO CODIFICABLE	DESAP	HÍBRIDO	60
39	RQ, T	RQ	RQ	RQ	RQ	80
40	T	T	T	T	T	100

Tabla 6.14 Modelo Explicativo Inicial de cada estudiante. Identificado de acuerdo a las categorías de Andersson (1990), adaptadas en términos de modelos.

Las categorías que se reportan son las siguientes:

T = Transmutación

M = Modificación

DESAP = Desaparición

DESPLZ = Desplazamiento

RQ = Reacción Química

HÍBRIDO = Fusión de varios modelos en uno sólo.

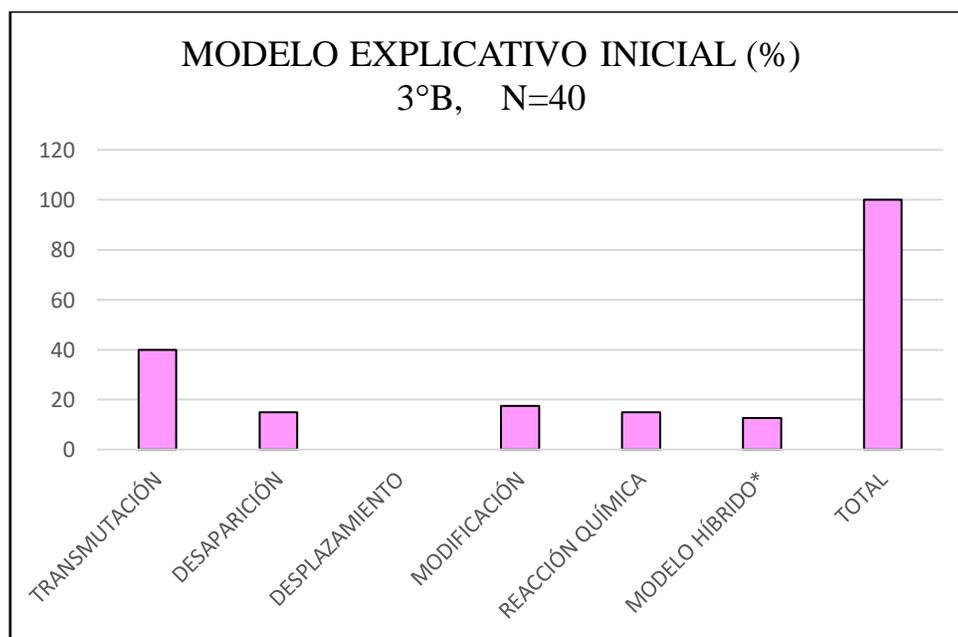
NO CODIFICABLE = No se identifica la presencia de algún modelo.

En la tabla 6.15 se muestra la frecuencia y el porcentaje con el que se repite cada uno de los modelos explicativos (MEI) en los 40 estudiantes.

MEI	FRECUENCIA	%
TRANSMUTACIÓN	16/40	40.0
DESAPARICIÓN	6/40	15.0
DESPLAZAMIENTO	0/40	0.0
MODIFICACIÓN	7/40	17.5
REACCIÓN QUÍMICA	6/40	15.0
MODELO HÍBRIDO	5/40	12.5
TOTAL	40/40	100.0

Tabla 6.15 Frecuencia con la que se presenta cada Modelo Explicativo Inicial en el total de la muestra.

Con los resultados presentados en la tabla 6.15 se realizó la siguiente gráfica. En el eje “X”, (abscisas), se graficó el MEI identificado en los estudiantes y en el eje “Y” (ordenadas), se graficó el porcentaje de estudiantes que presentaron dichos modelos. Ver gráfica 6.1.



Gráfica 6.1. Modelo Explicativo Inicial de los 40 estudiantes al inicio de la secuencia.

Como se puede observar tanto en la tabla 6.15 como en la gráfica 6.1, el MEI de los estudiantes que se presenta con mayor frecuencia es el de Transmutación con un porcentaje del 40%, seguido de los modelos de Modificación con 17.5%, Desaparición con 15%, Reacción Química con 15% y Modelo Híbrido con 12.5 %, respectivamente.

Un ejemplo del estudiante que utiliza el 100% del modelo de Transmutación –MEI que se presenta con mayor frecuencia– es el No. 40, el cual responde todas las preguntas con base en el mencionado modelo.

Las respuestas que el estudiante aporta son las siguientes:

1. *“Pues se hacen cenizas claro que como el papel es [mas]delgado se quema [mas] rápido”*
2. *“Madera, cerillo, papel, humo, cenizas”*

Las preguntas 3, 4, 5 y 6 (agrupadas como una sola):

3. *“Fuego”*
4. *“Porque unas son [mas] gruesas y echas de otros materiales”*
5. *“Que [este] en fuego y que no sea metal”*
6. *“Porque el material quemado [esta] caliente y le sobra un poco de fuego y al soplar revive el fuego”*
7. *“... al convertirlo en polvo su peso disminuye”*

Como se puede observar, este estudiante considera que cuando un material se quema se hacen cenizas y se convierte en polvo, lo cual nos ha permitido inferir que su modelo es totalmente de **Transmutación**.

6.3.4.2 Identificación del Modelo Científico Escolar Logrado en el total de la muestra

El MCEL logrado por cada uno de los estudiantes participantes en este estudio, se presenta en la tabla 6.16. Dicho modelo se obtuvo al analizar las respuestas del instrumento II (post-cuestionario), en donde se identificó si se encontraban presentes o no las **entidades**, **relaciones** y **condiciones** planteadas en el MCEA.

Para determinar el porcentaje de la presencia de cada modelo, se procedió de la misma forma como se explicó en el punto 6.3.4.

ALUMNO	PREGUNTA 1	PREGUNTA 2	PREGUNTAS (3, 4, 5 y 6)	PREGUNTA 7	MCEL	%
1	RQ	RQ, T	RQ, DESPLZ	RQ	RQ	66
2	M, DESPLZ, RQ	RQ	RQ	RQ	RQ	66
3	RQ, M	RQ, M	RQ	DESPLZ	RQ	50
4	RQ, T, DESPLZ	RQ, T	RQ	RQ, DESAPAR	RQ	50
5	T, RQ	T	RQ, T	NO CODIFICABLE	T	50
6	RQ, T	RQ, T	RQ	RQ	RQ	66
7	T	T	T, M, DESPLZ	NO CODIFICABLE	T	50
8	RQ	RQ	RQ	RQ	RQ	100
9	T, M	T, M	T	NO CODIFICABLE	T	50
10	T, M	T	RQ	RQ	HÍBRIDO	60
11	RQ, T	T	RQ	NO CODIFICABLE	HÍBRIDO	60
12	RQ	RQ	RQ	RQ	RQ	100
13	RQ	RQ	RQ	RQ	RQ	100
14	DESPLZ, DESAPAR, RQ	RQ, T	RQ	NO CODIFICABLE	HÍBRIDO	80
15	M, RQ	RQ	RQ	RQ	RQ	75
16	T	RQ, T	RQ	RQ	RQ	60
17	RQ	RQ	RQ	RQ	RQ	100
18	RQ	RQ, DESPLZ, T	RQ	RQ	RQ	66
19	RQ	RQ	RQ	NO CODIFICABLE	RQ	75
20	NO CODIFICABLE	RQ	RQ	NO CODIFICABLE	RQ	50
21	RQ	RQ, T	RQ	RQ	RQ	80
22	M	RQ, M	RQ	NO CODIFICABLE	HÍBRIDO	50
23	M, DESPLZ	RQ, DESPLZ	RQ, DESPLZ	RQ	HÍBRIDO	60
24	RQ	RQ	RQ	RQ	RQ	100
25	RQ	RQ	RQ	M	RQ	75
26	DESPLZ, DESAP, T	RQ, DESAP	NO CODIFICABLE	RQ	HÍBRIDO	80
27	RQ	RQ	RQ	RQ	RQ	100
28	DESPLZ, DESAP	DESPLZ, DESAP	RQ	NO CONTESTÓ	HÍBRIDO	60
29	RQ	RQ, DESAP, T	RQ	M, DESPLZ	HÍBRIDO	100
30	T	T, DESAP	MRQ	T	T	50
31	T, M	RQ	RQ	M	HÍBRIDO	60
32	M, T, RQ	RQ	RQ	M	RQ	50
33	NO CODIFICABLE	NO CODIFICABLE	NO CODIFICABLE	M	NO CODIFICABLE	75
34	RQ	RQ	RQ	RQ	RQ	100
35	RQ	RQ	RQ	DESAP	RQ	75
36	T	RQ	RQ	RQ	RQ	75
37	RQ	RQ	RQ	RQ	RQ	100
38	DESPLZ	RQ, DESPLZ, DESAP	RQ	NO CODIFICABLE	HÍBRIDO	60
39	RQ	RQ	RQ	RQ	RQ	100
40	RQ	RQ	RQ	M	RQ	75

Tabla 6.16. Modelos Científicos Escolares Logrados por los estudiantes al finalizar la aplicación de la secuencia didáctica.

Simbología de la tabla:

- MCEL: RQ 100%
- MCEL: RQ del 50% al 80%
- MCEL: Híbrido
- MCEL: Transmutación y no codificable

Al analizar la tabla anterior se tiene que:

- 25 estudiantes logran explicar el fenómeno de la combustión en términos de Reacción Química.
- 10 estudiantes presentan un modelo Híbrido⁴⁷.
- 4 estudiantes tienen un modelo de Transmutación.
- 1 estudiante no presenta algún modelo.

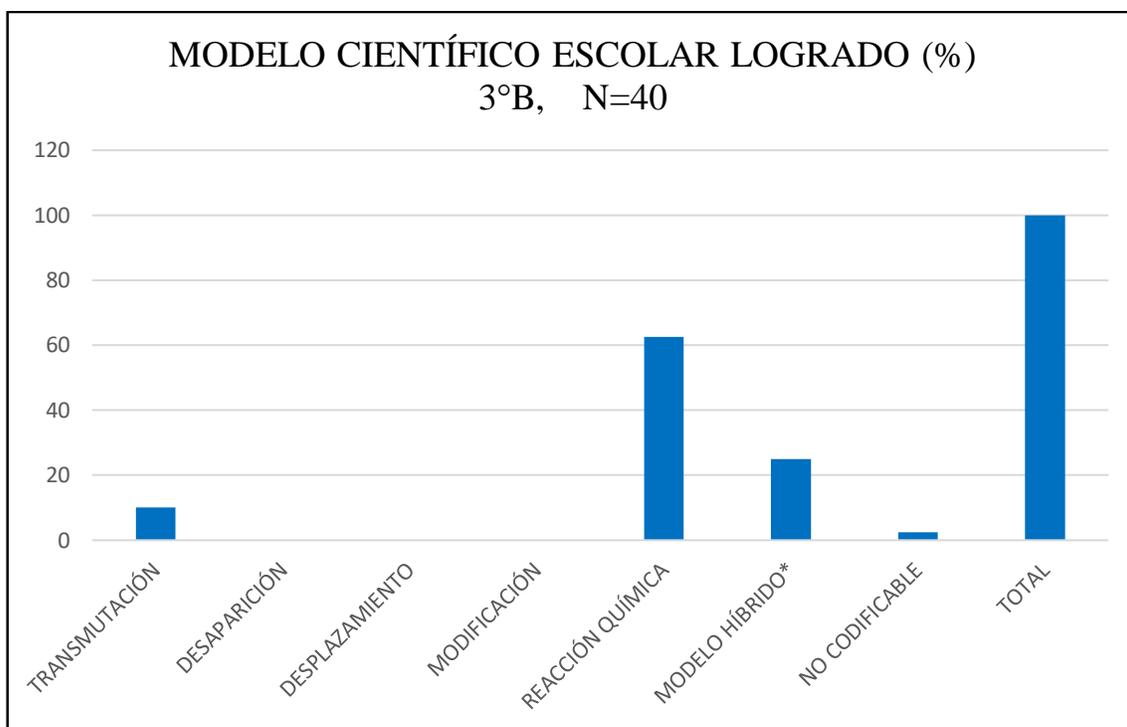
Con estos datos se construyó la tabla 6.17, en la cual se simplifica la información y se reporta tanto la frecuencia como el porcentaje con el que se presentan los diferentes MCEL en los 40 estudiantes que constituyen la muestra.

MCEL	FRECUENCIA	%
TRANSMUTACIÓN	4/40	10.0
DESAPARICIÓN	0/40	0.0
DESPLAZAMIENTO	0/40	0.0
MODIFICACIÓN	0/40	0.0
REACCIÓN QUÍMICA	25/40	62.5
MODELO HÍBRIDO	10/40	25.0
NO CODIFICABLE	1/40	2.5
TOTAL	40/40	100.0

Tabla 6.17. Frecuencia con la que se presentan los diferentes Modelos Científicos Escolares Logrados después de la aplicación de la secuencia didáctica.

Con los datos de la tabla anterior, se realizó la gráfica 6.2, la cual se construyó de forma semejante a la gráfica 6.1. En el eje “X”, se graficaron los MCEL por los estudiantes al final de la aplicación de la secuencia didáctica diseñada, y en el eje “Y” se graficó el porcentaje de estudiantes que lograron dichos modelos.

⁴⁷ Los estudiantes presentan sus explicaciones haciendo uso de más de 2 modelos.



Gráfica 6.2. Modelos Científicos Escolares Logrados por los estudiantes después de la secuencia didáctica.

Como se observa tanto en la tabla 6.17 como en la gráfica 6.2, el MCEL por un mayor número de estudiantes, es el de Reacción Química, con una frecuencia de 25/40 (62.5%), seguido del Modelo Híbrido con una frecuencia de 10/40 (25%) y el de Transmutación cuya frecuencia es de 4/40 (10%). No se identificó algún estudiante con Modelo de Desaparición o Desplazamiento.

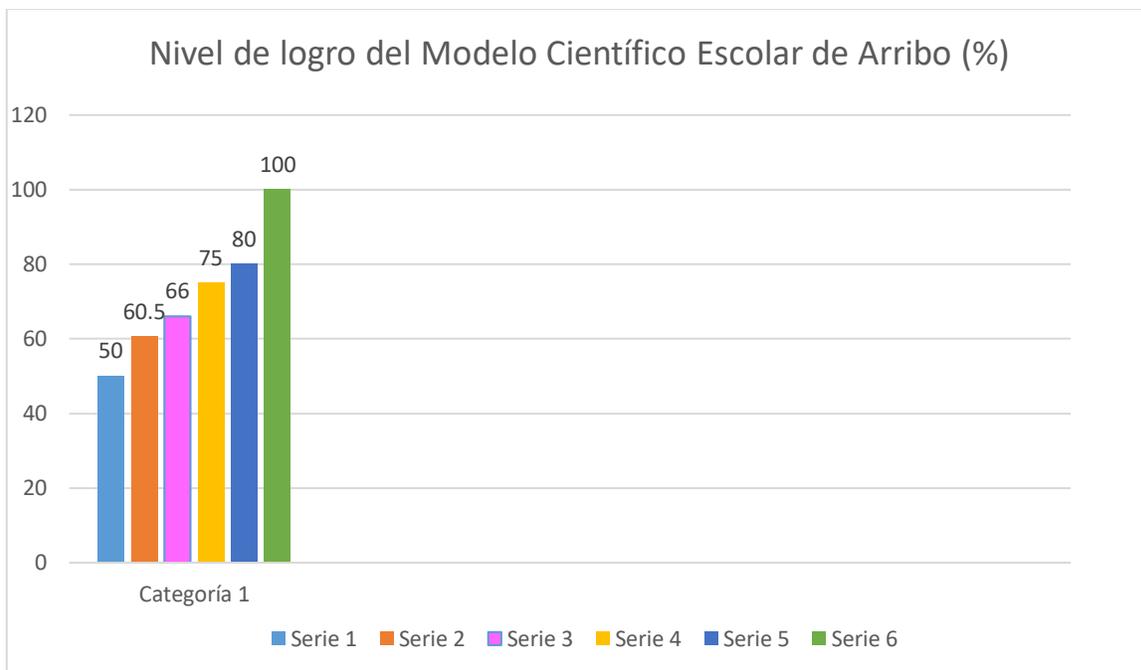
Como en este trabajo, uno de los aspectos que me interesa, es determinar en qué medida logran los estudiantes alcanzar el modelo de Reacción química con base en lo postulado en el MCEA; en la tabla 6.18 se expresa el % de logro de cada uno de los 25 de 40 estudiantes que lograron expresar dicho modelo.

MCEL = MCEA	No. DE ESTUDIANTES	% LOGRADO
Reacción Química	9/40	100.0
Reacción Química	1/40	80.0
Reacción Química	6/40	75.0
Reacción Química	4/40	66.0
Reacción Química	1/40	60.5
Reacción Química	4/40	50.0

Tabla 6.18. Medida del logro del MCEA postulado (Reacción química).

Al Interpretar la tabla 6.18, se tiene que de los 25 estudiantes que alcanzan el MCEA postulado, 9 de ellos lo logran al 100%, 1 al 80%, 6 al 75%, 4 al 66%, 1 al 60% y 4 al 50%.

Con los datos de esta tabla (6.18) elaboré la gráfica que a continuación presento, en la cual se aprecia el porcentaje de logro del MCEA.



Gráfica 6.3. Nivel de logro, expresado en porcentaje y frecuencia de los 25 estudiantes que lograron o se aproximaron al Modelo Científico Escolar de Arribo.

La gráfica 6.3 se interpreta como sigue: La columna en color azul, corresponde al 50% de logro del MCEA, alcanzado por 4 estudiantes, la columna marrón representa el 60% de logro alcanzado por 1 alumno, la columna rosa equivale al 66% logrado por 4 estudiantes; la columna amarilla corresponde al 75% en el nivel de logro, alcanzado por 6 estudiantes; la columna azul equivale al 80% logrado por un alumno y la columna verde representa al 100% de logro del Modelo Científico Escolar de Arribo, alcanzado por 9 estudiantes para dar cuenta del cambio químico mediante el abordaje –como ejemplo– del fenómeno de la combustión.

6.3.4.3 Comparación de los modelos identificados MEI vs MCEL

El objetivo de comparar el MEI que presentaba el estudiante antes de la aplicación de la secuencia didáctica diseñada para la comprensión del cambio químico en secundaria, contra el MCEL después de la aplicación de dicha secuencia, es determinar:

1. Si los estudiantes cambiaron de modelo o se mantuvieron en su MEI.
2. Si en el MCEL se encuentran presentes las entidades, relaciones y condiciones planteadas en el MCEA postulado.

3. Si hubo un avance o no, –en las explicaciones del estudiantado– de lo simple a lo complejo y de lo concreto a lo abstracto como la plantean García y Sanmartí (2006).

En la tabla 6.19 se reporta la comparación de los modelos identificados antes y después de la aplicación de la secuencia diseñada. Se expresa el MEI, así como su presencia en porcentaje en cada estudiante, lo mismo ocurre con el MCEL.

No. de estudiante	PRECUESTIONARIO		POSTCUESTIONARIO	
	MODELO EXPLICATIVO INICIAL (MEI)	% de presencia de ese modelo en el estudiante	MODELO CIENTÍFICO ESCOLAR LOGRADO (MCEL)	% de presencia de ese modelo en el estudiante
1	RQ	50	RQ	66
2	HÍBRIDO	60	RQ	66
3	DESAP	50	RQ	50
4	T	75	RQ	50
5	DESAP	50	T	50
6	T	50	RQ	66
7	T	75	T	50
8	DESAP	50	RQ	100
9	T	75	T	50
10	T	66	HÍBRIDO	60
11	T	75	HÍBRIDO	60
12	T	75	RQ	100
13	M	60	RQ	100
14	M	60	HÍBRIDO	80
15	HÍBRIDO	80	RQ	75
16	DESAP	60	RQ	60
17	T	50	RQ	100
18	T	50	RQ	66
19	T	50	RQ	75
20	RQ	66	RQ	50
21	DESAP	75	RQ	80
22	HÍBRIDO	80	HÍBRIDO	50
23	T	75	HÍBRIDO	60
24	T	75	RQ	100
25	T	75	RQ	75
26	RQ	50	HÍBRIDO	80
27	T	50	RQ	100
28	M	50	HÍBRIDO	60
29	M	50	HÍBRIDO	100
30	HÍBRIDO	50	T	50
31	RQ	50	HÍBRIDO	60
32	M	60	RQ	50
33	DESAP	50	NO CODIFICABLE	75
34	T	60	RQ	100
35	RQ	60	RQ	75
36	M	50	RQ	75

37	M	75	RQ	100
38	HÍBRIDO	60	HÍBRIDO	60
39	RQ	80	RQ	100
40	T	100	RQ	75

Tabla 6.19. Modelo Explicativo Inicial y Modelo Científico Escolar Logrado por los 40 estudiantes.

Simbología de la tabla:

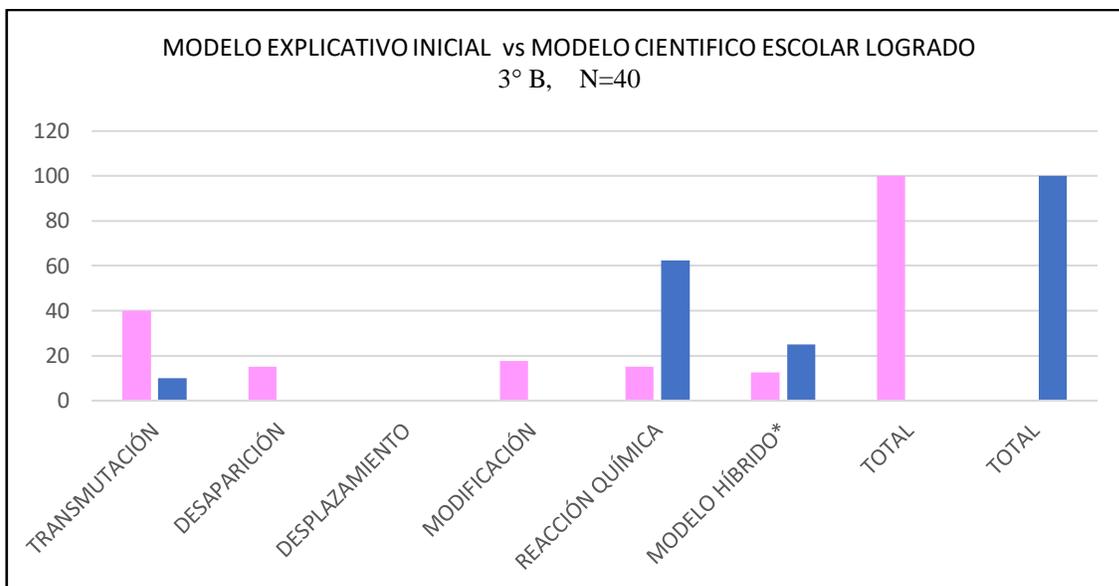
- Estudiantes cuyo MCEL es de RQ 100%
- Estudiantes cuyo MCEL es de RQ del 50% al 80%
- Estudiantes cuyo MCEL es Híbrido
- Estudiantes cuyo MCEL es de Transmutación y no codificable

Al Analizar la tabla anterior, se observa que:

- 21 estudiantes cambiaron su MEI, –ya sea de Transmutación, Modificación, Desaparición o Modelo Híbrido– hacia un MCEL de Reacción Química (RQ); de los cuales 9 de ellos lograron dicho modelo de RQ en un 100%, de acuerdo al MCEA.
- 4 estudiantes que tenían un MEI de RQ, mejoraron en sus explicaciones en un nuevo modelo de RQ más avanzado, es decir que se aproximaron al MCEA.
- En total 25 estudiantes como ya lo mencioné antes, lograron el modelo de RQ.
- 10 estudiantes presentan un modelo Híbrido y,
- 5 estudiantes que son el resto de la muestra se mantienen en su MEI o cambian de modelo explicativo, pero que no se acercan al MCEA.

Para determinar en qué medida se logró alcanzar el MCEA postulado para explicar el cambio químico mediante el fenómeno de la combustión, obtuve el promedio de los porcentajes alcanzados por cada uno de los 25 estudiantes (RQ) y determiné que el MCEL para la categoría de Reacción Química fue del 78.16%

En concordancia con la tabla 6.19, en el siguiente gráfico se muestran los modelos presentes con mayor frecuencia en el estudiantado –antes de la secuencia (MEI) y los MCEL después de la secuencia–, la utilidad de dicha gráfica, es para visualizar con mayor facilidad si hubo un cambio o avance positivo en determinado modelo.



■ MEI ■ MCEL

Gráfica 6.4 Modelos Explicativos Iniciales identificados antes de la secuencia didáctica y Modelos Científicos Escolares Logrados después de la secuencia.

Las barras de la izquierda –en color rosa– representan los MEI inferidos antes de la secuencia y las barras de la derecha, –en color azul– representan los MCEL inferidos después de la secuencia.

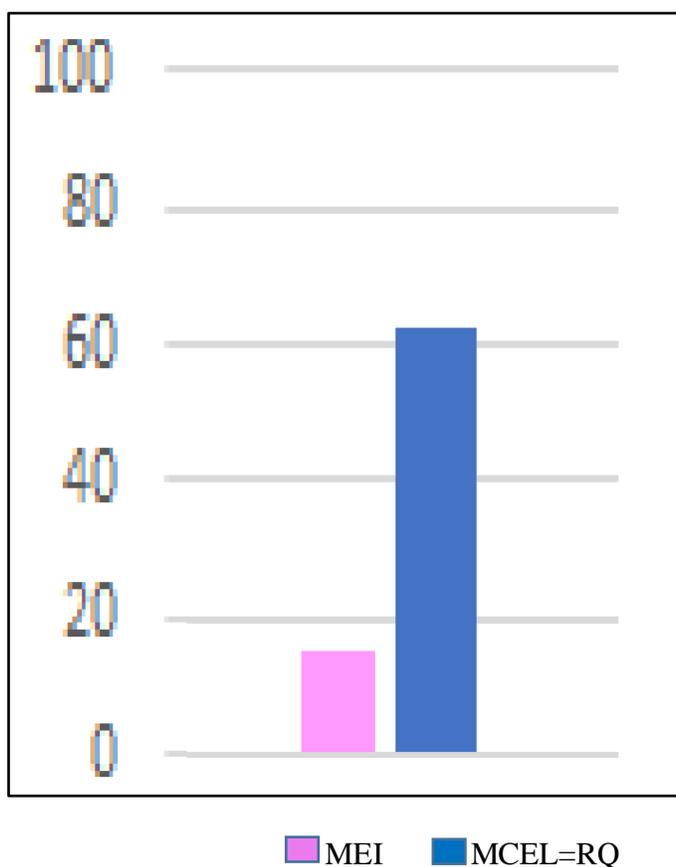
Al observar la gráfica 6.4 e interpretarla –de izquierda a derecha– es posible determinar que:

1. El MEI de Transmutación (T) – es el más frecuente antes de la aplicación de la secuencia– se identificó en 16 de 40 estudiantes, lo que equivale al 40% y que al final de la aplicación de dicha secuencia, este mismo modelo (T), se identificó sólo en 4 de 40 estudiantes, es decir en un 10% del alumnado, lo cual indica que hubo una disminución del 30% en la presencia de dicho modelo.
2. El MEI de Desaparición fue identificado en 6 de 40 estudiantes; mientras que al final de la secuencia dicho modelo no se encontró presente en algún estudiante.
3. En cuanto al MEI de Desplazamiento, este modelo no se encontró presente en algún estudiante y tampoco dentro de los MCEL.
4. El MEI de Modificación, se identificó en 7 de 40 estudiantes lo que corresponde al 17.5 %, este modelo no se identificó en algún estudiante al final de la secuencia.
5. El MEI correspondiente a Reacción Química, se identificó en 6 de los 40 estudiantes, mientras que, en el MCEL, el modelo de RQ se identificó en 25 estudiantes, y como

ya mencioné con anterioridad, 9 de estos 25 estudiantes lograron un modelo de RQ al 100% es decir que expresaron las entidades, relaciones y condiciones postuladas en el MCEA.

6. Por último, el MEI correspondiente al Modelo Híbrido, se identificó en 5 estudiantes, mientras que al final de la secuencia se infirió que 10 estudiantes del total de 40 presentan el Modelo Híbrido.

En la siguiente gráfica se muestra el MEI y el MCEL correspondiente a la categoría de Reacción Química.



Gráfica 6.5. Modelo Explicativo Inicial y Modelo Científico Escolar Logrado en la categoría de Reacción Química

Como se observa en la gráfica, el Modelo Explicativo Inicial (MEI) correspondiente a la categoría de Reacción Química está presente en el 15% de los estudiantes, mientras que el Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL) también en la categoría de Reacción Química se encuentra presente en el 62.5% de los estudiantes. El promedio del porcentaje de aproximación o logro del MCEA alcanzado, fue del 78.16%; lo cual me permite considerar

que con la secuencia diseñada con base en el MCEA sí hubo un avance en los modelos iniciales de los estudiantes, que evolucionaron de lo simple a lo complejo y de lo concreto a lo abstracto (García y Sanmartí, 2006) así como también hubo un avance en los niveles de representación de la química; al partir de lo macroscópico hacia los niveles submicroscópico y simbólico (Johnstone, 1982).

Con base en los resultados obtenidos, considero que la elaboración de un MCEA que integre las **entidades**, **relaciones** y **condiciones** necesarias para que un fenómeno químico sea comprendido, es de suma importancia, ya que dicho modelo actúa como mediador entre el modelo curricular y el modelo científico, al cual se desea aproximarse mediante las acciones que se han de llevar a cabo durante la actividad científica escolar.

6.4 Conclusiones

En esta tesis se puso a prueba un referente apriorístico a alcanzar –en forma de hipótesis directriz, denominado Modelo Científico Escolar de Arribo–, el cual proporcionó criterios teóricos y metodológicos específicos que permiten intervenir mediante una secuencia didáctica en la construcción de conocimiento sobre la reacción química en una muestra de estudiantes de educación secundaria.

Específicamente, se construyó el Modelo Científico Escolar de Arribo a partir de las ideas previas de los estudiantes, los planes y programas de estudio de 3° de secundaria de química y el contenido científico, previa homogeneización de la información en forma de modelos, sobre el fenómeno del cambio químico.

Así mismo, se diseñó una secuencia didáctica basada en modelos y modelización a partir del Modelo Científico Escolar de Arribo con base en criterios teóricos y metodológicos aportados por dicho modelo.

Se identificaron los modelos alcanzados por los estudiantes para explicar la reacción química, –específicamente la combustión– y se valoró qué tan cercanos fueron al Modelo Científico Escolar de Arribo postulado.

En relación con las preguntas de investigación formuladas en el capítulo 1, las cuales versan como sigue:

¿Logra una muestra de estudiantes de educación secundaria alcanzar, mediante una secuencia didáctica diseñada con criterios teóricos y metodológicos específicos, un modelo científico escolar –postulado a priori– que le permita explicar la reacción química a partir del fenómeno de la combustión?

Es decir:

1. ¿En qué medida logran los estudiantes participantes en este estudio alcanzar el modelo postulado?
2. ¿Cuáles son los modelos alcanzados por la muestra mencionada?

Procedo a dar respuesta a cada una de ellas.

Para la primera pregunta:

¿Logra una muestra de estudiantes de educación secundaria alcanzar, mediante una secuencia didáctica diseñada con criterios teóricos y metodológicos específicos, un modelo científico escolar –postulado a priori– que le permita explicar la reacción química a partir del fenómeno de la combustión?

La respuesta es la siguiente:

De acuerdo a los resultados obtenidos al aplicar la secuencia didáctica diseñada con los criterios teóricos y metodológicos aportados por el Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA), titulada “La combustión”, la cual está basada en la modelización y diseñada específicamente para abordar la reacción química en secundaria; es posible afirmar que la mayoría de los estudiantes que constituyen la muestra de estudio, sí lograron alcanzar el modelo postulado a priori –MCEA– para explicar la reacción química.

La respuesta que se da a esta pregunta, se sustenta con lo expuesto en el capítulo 6 –Análisis de los datos y resultados– en el apartado 6.3.4.2 en donde se explicita que el Modelo Científico Escolar Logrado para dar cuenta del cambio químico a partir del fenómeno de la combustión, tal como se espera y se postula en el Modelo Científico Escolar de Arribo, se logra por el 62.5% del total de la muestra, es decir 25 estudiantes de un total de 40 expresan el modelo de Reacción Química a partir del fenómeno de la combustión.

En la tabla 6.17, que también se reporta en dicho apartado y se visualiza lo que he mencionado en el párrafo anterior. A continuación, sólo presento un fragmento de la mencionada tabla en donde aparece la frecuencia y porcentaje del Modelo Científico Escolar Logrado, que corresponde al modelo de Reacción Química; o lo que es lo mismo, el Modelo Científico Escolar de Arribo construido para dar cuenta de este fenómeno.

MCEL=MCEA	FRECUENCIA	% CORRESPONDIENTE
REACCIÓN QUÍMICA	25/40	62.5

Fragmento de la tabla 6.17, en donde se observa que 25 de 40 estudiantes logran el MCEA.

Para la siguiente pregunta:

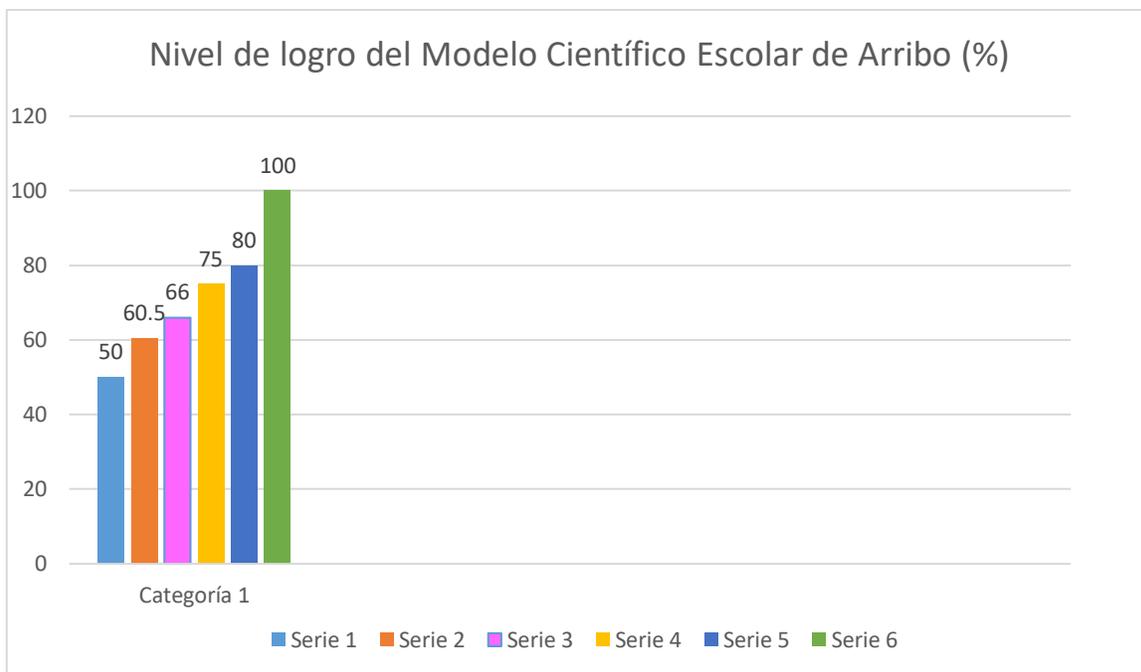
¿En qué medida logran los estudiantes participantes en este estudio alcanzar el modelo postulado?

La respuesta se expresa en términos de número de estudiantes y porcentaje de logro del Modelo Científico Escolar de Arribo. Se sustenta con lo reportado en el capítulo 6, apartado 6.3.4.2, tabla 6.18; en donde se expresa que de los 25 estudiantes que logran alcanzar el MCEA postulado, para dar cuenta del cambio químico en secundaria: 9 de ellos lo hacen con un nivel de logro del 100%, 1 en un 80%, 6 en un 75%, 4 en un 66%, 1 en un 60% y 4 en un 50%. A continuación, presento la tabla 6.18 para visualizar con mayor facilidad lo expresado líneas arriba.

MCEL = MCEA	No. DE ESTUDIANTES	NIVEL DE LOGRO (%)
Reacción Química	9/40	100.0
Reacción Química	1/40	80.0
Reacción Química	6/40	75.0
Reacción Química	4/40	66.0
Reacción Química	1/40	60.5
Reacción Química	4/40	50.0

Tabla 6.18. Medida del logro del MCEA postulado (Reacción química).

Con los datos que me arrojó esta tabla, tuve la oportunidad de realizar la siguiente gráfica, con lo cual se confirma y corrobora la utilidad del Modelo Científico Escolar de Arribo en el diseño de secuencias didácticas basadas en modelos y modelización.



Gráfica 6.3. Nivel de logro, expresado en porcentaje y frecuencia de los 25 estudiantes que lograron o se aproximaron al Modelo Científico Escolar de Arribo.

Esta gráfica se ha explicado a detalle en el capítulo 6, en la sección 6.3.4.2; sin embargo, en este apartado retomo parte de dicha información para mencionar que cada columna corresponde a un determinado nivel de logro del MCEA; el cual va desde el 50% hasta el 100%. El MCEA fue alcanzado por 25 estudiantes, de los cuales 9 llegaron a un nivel de logro del 100%, es decir un nivel alto, 6 lo alcanzaron en un 75% (nivel medio) y 4 se acercaron al modelo postulado (MCEA) en un 50% que corresponde a un nivel bajo.

Por otra parte, al calcular el promedio de los porcentajes del nivel de logro reportado en la tabla 6.18, se obtiene que 25 de 40 estudiantes participantes en este estudio alcanzaron el modelo postulado en un 78.16 %, (arriba del nivel medio), por lo tanto, con estos resultados es posible corroborar la validez y utilidad del MCEA como un dispositivo teórico metodológico, postulado a priori, para diseñar y validar secuencias didácticas basadas en modelos y modelización para dar cuenta de los fenómenos de interés estudiados por la química y que se abordan durante el desarrollo de la ciencia escolar.

Con relación a la tercera pregunta:

¿Cuáles son los modelos alcanzados por la muestra mencionada?

Para dar respuesta a esta pregunta, retomo lo reportado en el capítulo 6, apartado 6.3.4.2, tabla 6.16, 6.17 y gráfica 6.2.

De la tabla 6.16, sólo presento el fragmento en el cual se visualiza el número de estudiante, el Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL) y el porcentaje en el que se alcanza cada modelo.

ALUMNO	MCEL	%
1	RQ	66
2	RQ	66
3	RQ	50
4	RQ	50
5	T	50
6	RQ	66
7	T	50
8	RQ	100
9	T	50
10	HÍBRIDO	60
11	HÍBRIDO	60
12	RQ	100
13	RQ	100
14	HÍBRIDO	80
15	RQ	75
16	RQ	60
17	RQ	100
18	RQ	66
19	RQ	75
20	RQ	50
21	RQ	80
22	HÍBRIDO	50
23	HÍBRIDO	60
24	RQ	100
25	RQ	75
26	HÍBRIDO	80
27	RQ	100
28	HÍBRIDO	60
29	HÍBRIDO	100
30	T	50
31	HÍBRIDO	60
32	RQ	50
33	NO CODIFICABLE	75
34	RQ	100
35	RQ	75
36	RQ	75
37	RQ	100
38	HÍBRIDO	60
39	RQ	100
40	RQ	75

Tabla 6.16. Modelos Científicos Escolares Logrados por los estudiantes al finalizar la aplicación de la secuencia didáctica.

Simbología de la tabla:

- MCEL: Reacción Química (RQ) 100%
- MCEL: Reacción Química (RQ) del 50% al 80%

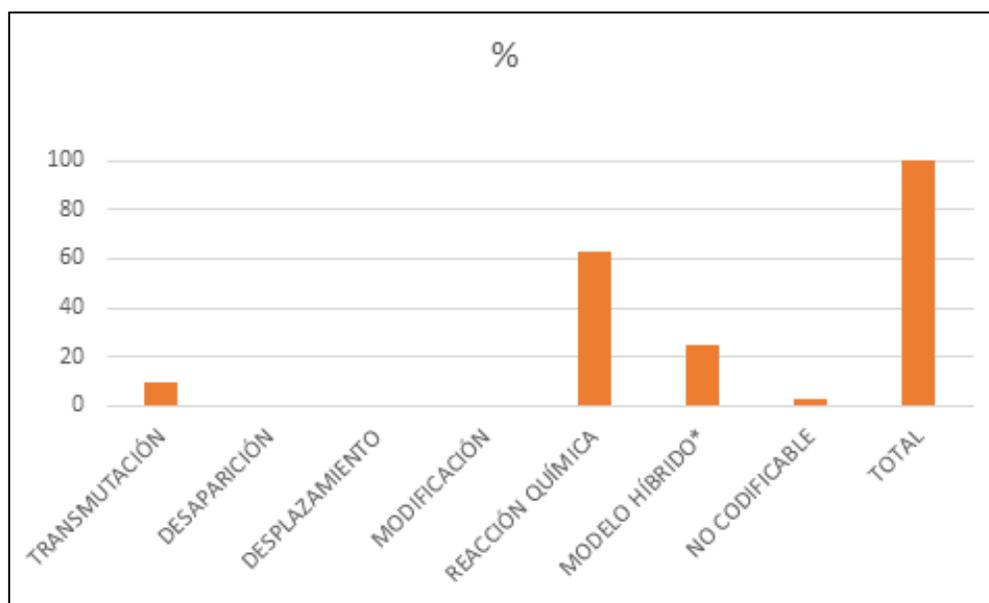
- MCEL: Híbrido
- MCEL: Transmutación (T) y no codificable

Con la tabla 6.17 se visualizan rápidamente los modelos alcanzados, la frecuencia con que se presentaron y el porcentaje al que corresponde dicha frecuencia.

MCEL	FRECUENCIA	% CORRESPONDIENTE
TRANSMUTACIÓN	4/40	10.0
DESAPARICIÓN	0/40	0.0
DESPLAZAMIENTO	0/40	0.0
MODIFICACIÓN	0/40	0.0
REACCIÓN QUÍMICA	25/40	62.5
MODELO HÍBRIDO*	10/40	25.0
NO CODIFICABLE	1/40	2.5
TOTAL	40/40	100.0

Tabla 6.17. Frecuencia con la que se presentan los diferentes Modelos Científicos Escolares Logrados después de la aplicación de la secuencia didáctica.

Y finalmente en la gráfica, también se visualizan con mayor facilidad los modelos alcanzados por la muestra empleada para realizar este estudio.



Gráfica 6.2. Modelos Científicos Escolares Logrados por los estudiantes después de la secuencia didáctica.

Por lo tanto, de acuerdo a lo reportado tanto en las tablas 6.16 y 6.17 como en la gráfica 6.2 se concluye que los modelos alcanzados por los estudiantes entre 14 y 15 años de edad –muestra n=40– son los siguientes:

Modelo de Reacción Química, alcanzado por 25 estudiantes, lo que representa una frecuencia del 62.5%.

Modelo Híbrido, logrado por 10 estudiantes cuya frecuencia es del 25%

Modelo de Transmutación, alcanzado por 4 estudiantes equivalente a una frecuencia del 10%.

Con lo hasta aquí expuesto, he dado respuesta a las preguntas de investigación, planteadas al inicio de esta tesis, pero además comento que a lo largo del trabajo realizado en esta investigación/intervención, he detectado aspectos importantes, los cuales considero que vale la pena resaltar. Estos aspectos son los siguientes:

- Antes de aplicar la secuencia didáctica “*La combustión*” diseñada con base en la modelización, bajo los criterios orientadores del Modelo Científico Escolar de Arribo; el Modelo Explicativo Inicial predominante en los estudiantes para explicar el fenómeno de la combustión como ejemplo de cambio químico fue el de **Transmutación con una frecuencia del 40%**, es decir que **16 de 40** estudiantes presentaban este modelo explicativo. Mientras que al finalizar la aplicación de la mencionada secuencia didáctica, el Modelo Científico Escolar Logrado correspondiente a la categoría de Transmutación se identificó sólo en 4 de los 40 estudiantes, lo que implica un porcentaje del 10%; por lo tanto, la presencia de este modelo disminuyó en un 30%. Pero, lo más importante es que 11 de 16 estudiantes, modificaron su modelo de Transmutación hacia el de Reacción Química.
- El Modelo Explicativo Inicial categorizado como **Desaparición** se identificó en 6 estudiantes del total de la muestra antes de la aplicación de la secuencia, y al final de la misma, 4 de esos 6 estudiantes modificaron dicho modelo y presentaron un Modelo Científico Escolar Logrado correspondiente a la categoría de **Reacción Química**.
- En la categoría correspondiente al modelo de **Modificación**, el Modelo Explicativo Inicial, presentado por 7 estudiantes fue modificado por 4 de ellos hacia la categoría de **Reacción Química** al final de la secuencia.
- El Modelo Explicativo Inicial categorizado como **Híbrido** se detectó en 5 estudiantes, de los cuales 2 de ellos cambiaron tal modelo y expresaron un Modelo Científico Escolar Logrado categorizado como: **Reacción Química**.

- En lo correspondiente a la categoría de **Reacción Química**, en 6 estudiantes se identificó la presencia en el Modelo Explicativo Inicial, y en el Modelo Científico Escolar Logrado, 4 de ellos se mantuvieron en este modelo y mejoraron en sus explicaciones para dar cuenta del fenómeno de la combustión como ejemplo del cambio químico. En este punto considero pertinente comentar que en el planteamiento del MCEA se da especial importancia a la cantidad de energía que aporta la reacción de combustión, y cabe mencionar que, en los Modelos alcanzados, se encontró que los estudiantes sí reconocen dicha importancia y la expresan tanto con dibujos como con palabras.
- Finalmente, no se identificaron estudiantes que conserven el Modelo Explicativo Inicial expresado en términos de **Desaparición, Modificación o Desplazamiento**.

Con los datos expuestos con anterioridad, en relación al cambio del Modelo Explicativo Inicial del estudiantado por un Modelo Científico Escolar Logrado orientado hacia Reacción Química, se concluye que:

Al poner a prueba al Modelo Científico Escolar de Arribo como un dispositivo útil en el aporte de criterios teórico-metodológicos, para el diseño de secuencias didácticas basadas en la modelización y en la validación de las mismas, dicho modelo cumple y corrobora la utilidad de emplearle como hipótesis directriz, en el diseño e implementación de las mencionadas secuencias; con la finalidad de construir los aprendizajes esperados y cumplir con los estándares curriculares establecidos para la enseñanza de las ciencias en la escuela secundaria.

Otro aspecto importante que identifiqué durante el desarrollo de esta tesis es el que a continuación presento:

Antes de la aplicación de la secuencia didáctica, –en el Modelo Explicativo inicial– los estudiantes daban sus explicaciones sobre el fenómeno de la combustión, únicamente en el nivel **macroscópico**, y al final de la secuencia, es decir en su Modelo Científico Escolar Logrado, la mayoría del alumnado expresó sus explicaciones haciendo uso del nivel **sub-microscópico** y del nivel **simbólico**; lo que me permite concluir que los estudiantes avanzaron en los tres niveles de representación de la química (Johnstone, 1982).

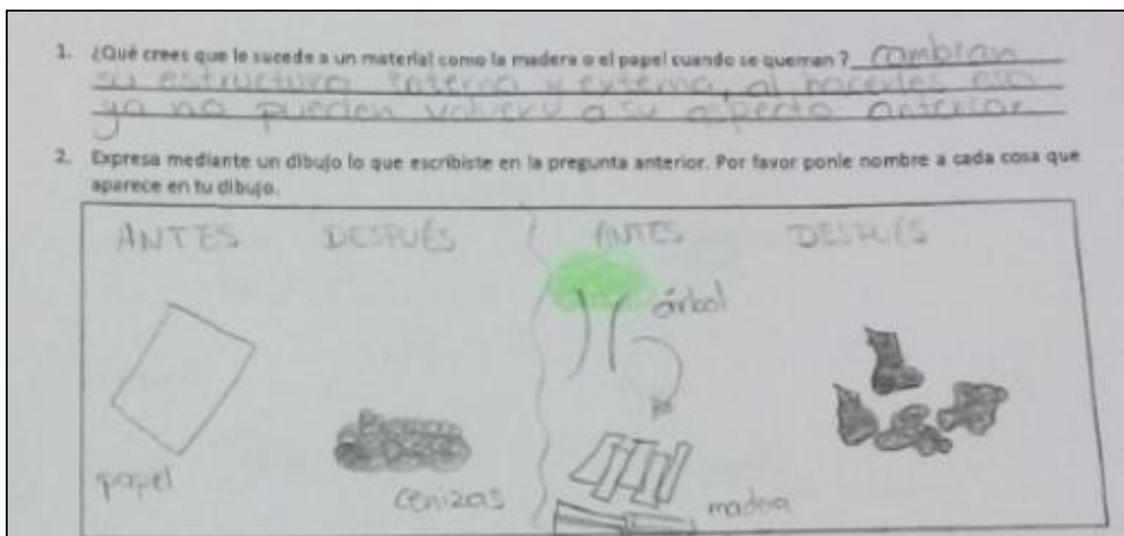
De igual forma, se identificó que las explicaciones del estudiantado para dar cuenta del cambio químico, evolucionaron –una vez aplicada la secuencia didáctica– al partir de un modelo simple y concreto hacia uno más complejo y abstracto (García y Sanmartí, 2006). Tanto esta afirmación como la anterior, se sustentan con los resultados del capítulo 6, apartado 6.3.3.1, en donde se comparan los modelos

iniciales de 6 estudiantes contra los modelos alcanzados por esos mismos estudiantes al final de la secuencia.

A continuación presento un ejemplo de dicha comparación, en donde se observa el avance del estudiante en la expresión de su modelo alcanzado.

Cambio de modelo, de Modificación a Reacción Química. Estudiante No. 37

Antes:



Modelo Explicativo Inicial: Modificación. Estudiante 37.

Después:

1. ¿Qué crees que le sucede a un material como la madera o el papel cuando se queman? su estructura interna cambia y comienza la combustión (comburente + combustible).

2. Expresa mediante un dibujo lo que escribiste en la pregunta anterior. Por favor ponle nombre a cada cosa que aparece en tu dibujo.

The diagram illustrates the combustion process. On the left, under the heading 'REACTIVOS', there is a drawing of a piece of wood labeled 'combustible' and a wavy line labeled 'comburente (O₂)'. An arrow labeled 'energía de activación' points to the right. On the right, under the heading 'PRODUCTOS', there is a drawing of a fire labeled 'vapor de H₂O', 'energía luz', and 'energía calor'. An arrow labeled 'se rompen enlaces' points from the reactants to the products. Above the products, there is a drawing of a flame and the label 'CO₂'.

Modelo Científico Escolar Logrado: Reacción Química. Estudiante 37.

Finalmente, una vez terminado este trabajo de investigación e intervención didáctica, al haber construido el Modelo Científico Escolar de Arriba y haber empleado los criterios tanto teóricos como metodológicos que me permitieron intervenir en la construcción del conocimiento sobre el cambio químico –mediante el diseño de una secuencia didáctica basada en la modelización– en una muestra de estudiantes de secundaria para poner a prueba dicho modelo al valorar qué tan cercanos son los Modelos Científicos Escolares Logrados al modelo postulado *a priori*, concluyo que el Modelo Científico Escolar de Arriba presenta las siguientes ventajas.

1. Es un modelo más próximo al Modelo Científico y más completo que el Modelo Curricular que presentan la mayoría de los libros de texto del nivel secundaria. Esta afirmación se sustenta en el capítulo 4 en el apartado 4.4.2.5, en la revisión curricular para el estudio de la química en secundaria.
2. Pretende aproximarse al Modelo Científico, pero es diferente y menos riguroso que éste porque, aunque en su construcción se emplean determinados aspectos del modelo científico, permite el empleo de un vocabulario flexible, –menos especializado que el vocabulario científico– acorde con la edad y conocimiento del alumnado cuya edad oscila entre los 14 y 15 años de edad –en el caso de los estudiantes de tercer grado de secundaria–. También es diferente al Modelo Curricular, porque al tensionar ambos modelos, –Científico y Curricular– el Modelo Científico Escolar de Arriba tiene **entidades, relaciones y condiciones** propias (Miguel, et al2014).

3. Posibilita visualizar, conocer, analizar y considerar los componentes más importantes que se han de abordar –de acuerdo al nivel educativo en el que se va a implementar– para explicitar un determinado fenómeno, en términos de **entidades, relaciones y condiciones**, lo cual facilita establecer los criterios teórico- metodológicos para planear las acciones que se han de realizar durante la actividad científica escolar; la cual se desarrolla durante la enseñanza de la ciencia escolar.
4. Contempla al Modelo Explicativo Inicial del estudiantado –ya que es su punto de partida– e integra poco a poco actividades que permitan un avance gradual en la construcción del modelo deseado, que es precisamente el Modelo Científico Escolar de Arriba; es decir el modelo postulado.
5. Permite articular el Modelo Explicativo Inicial de los estudiantes, con los contenidos curriculares de los programas de estudio y con los modelos científicos, con la intención de conducir y orientar tanto en el diseño de las actividades que integran una secuencia didáctica como su validación bajo el referente teórico de la modelización para evaluar el nivel de logro o avance de los estudiantes mediante el Modelo Científico Escolar Logrado.

Para cerrar con las conclusiones sobre este trabajo, sólo me resta mencionar que a través del abordaje de los distintos fenómenos químicos, físicos o biológicos empleando secuencias didácticas diseñadas con base en modelos y modelización, se logra que los estudiantes expliciten los fenómenos cotidianos con mayor aproximación a los modelos propuestos por la ciencia formal; con lo cual los estudiantes serán capaces de tomar decisiones acertadas en los aspectos de su vida cotidiana y en el contexto en el cual se desarrollan.

Al poner en práctica la enseñanza con base en la modelización se ha de lograr una educación de calidad para todos los ciudadanos (Izquierdo, 2007) y se logrará mejorar la enseñanza de las ciencias en todos los aspectos y en todos los niveles educativos (Adúriz-Bravo y Ariza, 2012).

Sólo me resta mencionar que la realización de esta tesis me deja grandes satisfacciones, primero porque a través del desarrollo de la misma, conocí el tipo de investigaciones que se llevan a cabo en el campo de la Didáctica de las Ciencias y tuve la oportunidad de realizar una estancia en otro país (Chile). En donde pude intercambiar valiosas experiencias de aprendizaje. Por otra parte, también conocí nuevas teorías pedagógicas que, al interiorizarlas y ponerlas en práctica, me han permitido mejorar mi práctica docente. Esta situación representa para mí un gran avance en mi formación profesional lo cual me motiva a seguir preparándome siempre.

Aportaciones

- La primera aportación que surge de esta investigación es la secuencia didáctica diseñada con base en la modelización, la cual tiene la posibilidad de ser aplicada por el profesorado de ciencias para el abordaje del tema de las reacciones químicas en la escuela secundaria empleando como ejemplo el fenómeno de la combustión.
- Otra aportación que este trabajo realiza en el campo de la Didáctica de las ciencias es la adecuación de las categorías propuestas por Andersson (1986,1990) para clasificar las ideas previas de los estudiantes y expresarlas en términos de modelos, en donde se identifican **entidades, relaciones y condiciones** necesarias para que se lleve a cabo un determinado fenómeno; con lo cual se logra inferir el pensamiento dinámico de los estudiantes cuando explicitan un fenómeno abordado durante la actividad científica escolar. En el capítulo 6, apartado 6.3 se presenta la base de esta aportación.
- Una tercera aportación, la constituye la identificación de los modelos híbridos – presencia de dos o más modelos explicativos diferentes para el mismo estudiante– que el alumnado utiliza y combina cuando intenta explicitar un determinado fenómeno que se estudia durante el desarrollo de la ciencia escolar. El sustento de esta aportación se encuentra en el capítulo 6, apartado 6.3.1.2.
- Otra aportación la constituye la elaboración de un mapa conceptual sobre el fenómeno de la combustión, –con base en Sanmartí (2005)– el cual se elaboró durante la revisión del conocimiento científico y fue de utilidad para identificar las **entidades, relaciones y condiciones** que debían estar presentes en el Modelo Científico Escolar de Arribo a postular, para dar cuenta del cambio químico. En el capítulo 5, apartado 5.3 se profundiza sobre este aspecto.
- Finalmente, otra aportación –de acuerdo con Miguel et al (2014)–, la constituye el hecho de valorar al MCEA, como un constructo teórico-metodológico viable para el diseño de secuencias didácticas basadas en la modelización, cuyo planteamiento didáctico es equivalente y compatible con el modelo propuesto por García y Sanmartí (2006), para determinar la *Evolución en el Aprendizaje*, así como con el modelo de *Ancla Inicial y Ancla Final* propuesto por Salinas et al. (2013) y Talanquer (2013), para planear secuencias didácticas y progresiones de aprendizaje; toda vez que dichos modelos –al igual que el Modelo Científico Escolar de Arribo– también parten de un Modelo Explicativo Inicial que es simple y concreto y buscan avanzar hacia un Modelo Final –Modelo Científico Escolar Logrado– que es complejo y abstracto. Las bases de esta aportación se encuentran en el capítulo 3 apartado 3.3.1 en donde se expone lo mencionado líneas arriba. Como colofón presento la siguiente imagen que da cuenta de lo que he mencionado con anterioridad en este punto.

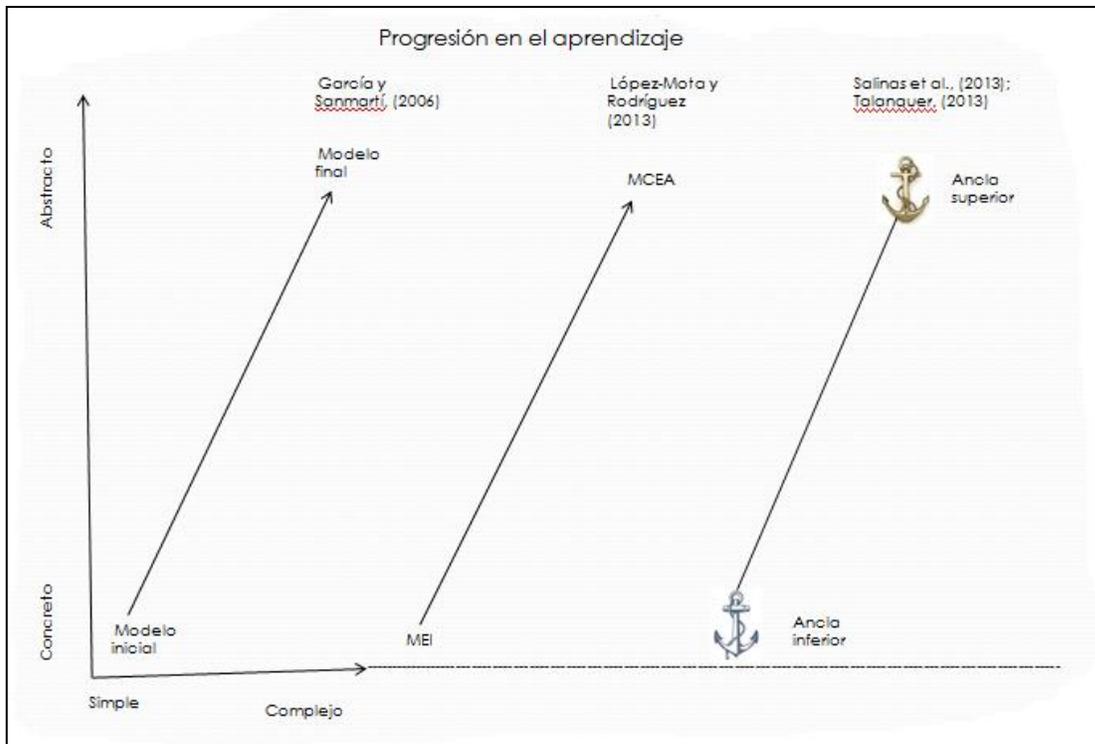


Fig. 6.17. Similitud del MCEA con el modelo Complejo-Abstracto propuesto por García y Sanmartí (2006) y con el modelo de Ancla Inferior-Superior propuesto por Salinas (2013) y Talanquer (2013). (Fuente: Miguel et al, 2014).

Consideraciones finales

- Para futuras investigaciones en este campo, recomiendo diseñar una actividad sencilla en donde se retome o se reafirme el Modelo Cinético de Partículas, específicamente en la relación que guarda el estado de agregación de la materia con su energía cinética y su representación a nivel sub-microscópico. Recomiendo esta actividad para apoyar o conducir al alumnado hacia el mundo de las representaciones abstractas, nivel de representación que, –de acuerdo al análisis de los resultados del post-cuestionario y a las experiencias vividas en las aulas a lo largo de 20 años– para el estudiantado no es fácil de expresar.
- Por otra parte, también recomiendo –si es posible– aplicar la secuencia diseñada por lo menos en dos grupos distintos o en dos momentos diferentes del ciclo escolar, para que la validez del MCEA sea más robusta y más confiable.
- Por último, considero que también es importante tomar en cuenta la formación profesional del docente que diseña y aplica la secuencia. En este caso, los resultados obtenidos ¿podrían deberse o no a la participación del docente? En este momento no

es posible dar respuesta a esta pregunta, –ya que no era el objeto de este estudio– pero sí se puede mirar la secuencia, en donde el diseño de cada una de las actividades claramente apunta o direcciona hacia un pensamiento que lleve a los estudiantes a expresar el modelo esperado en términos de Reacción química. Por ello recomiendo que los profesores de ciencias deben ser considerados en diversos cursos de profesionalización docente para reafirmar sus capacidades tanto en el campo de la didáctica como en el de la investigación científica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adúriz-Bravo, A., Izquierdo, M. y Estany, A. (2002). Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación. *Enseñanza de las ciencias*, 20(3), 465-476.
- Adúriz-Bravo, A., Salazar, I., Mena, N. y Badillo, E. (2006). La Epistemología en la Formación del Profesorado de Ciencias Naturales: Aportaciones del Positivismo Lógico. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 1(1) 6-23.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 1, 40-49.
- Adúriz-Bravo, A., y Ariza, Y. (2012). Qué son los modelos científicos: Introduciendo la escuela semanticista en la didáctica de las ciencias naturales. *III Congreso Internacional y VIII Nacional de Investigación en Educación, Pedagogía y Formación Docente* Bogotá. 1134-1150. ISBN: 978-958-8650-30-2.
- 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.
- Allier, R. y Castillo, S. (2012). *La magia de la ciencia. Química, Tercer grado*. México: McGraw-Hill, pp. 264-273.
- Asimov, I. (2003). *Breve historia de la química. Introducción a las ideas y conceptos de la química*. Madrid: Alianza Editorial.
- Atkins P. y Jones L. (2009). *Principios de química*. Madrid: Médica Panamericana.
- Azcona, R., Furió, C., Intxausti, S. y Álvarez, A. (2004). ¿Es posible aprender los cambios químicos sin comprender qué es una sustancia? Importancia de los prerrequisitos. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 40, 7-17.
- Barker, V. (1999). Students' reasoning about chemical reactions: what changes occur during a context-based post-16 chemistry course? *International Journal of Science Education*, 21(6), 645-665.
- Borda, O. y Erazo, M. (2010). Concepciones sobre ciencia e investigación en profesores de química en formación inicial: un estudio en el contexto de los trabajos experimentales. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 28, 41-56.
- Caamaño, A. (1998). El cambio químico: un tema central de la investigación en didáctica de la química. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 17, 61-63.
- Caamaño, A. (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la química. En P. Jiménez (Coord.), *Enseñar Ciencias* (pp.203-228). Barcelona: Graó.

- Caamaño, A. (2004). La enseñanza de la química: conceptos y teorías, dificultades de aprendizaje y replanteamientos curriculares. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 41, 68-81.
- Caamaño, A. (2007). Modelizar y contextualizar el currículum de química: un proceso en constante desarrollo. En M. Izquierdo, A. Caamaño y M. Quintanilla (Eds.), *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar* (pp.19-39). España: UAB
- Carazo, A. (2006). Cifras Básicas de la Relación MADERA-Fijación de Carbono-CO₂ atmosférico. *Revista Montes*. Madrid 1-7 Consultado el 23 de marzo de 2015 en <http://enersilva.navegantes.info/areasubir/articulos/Articulo%20Montes%20Madera-C-CO2.pdf>
- Casado, G. y Raviolo, A. (2005). Las dificultades de los alumnos al relacionar distintos niveles de representación de una reacción química. *Universitas Scientiarum*, 10, 35-43.
- Carbonell, F. y Furió, C. (1987). Opiniones de los adolescentes respecto del cambio sustancial en las reacciones químicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (1), 3-9.
- Chamizo, J. y Márquez, J. (2006). Modelación molecular. Estrategia didáctica sobre la constitución de los gases, la función de los catalizadores y el lenguaje de la química. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 31(11), 729-745.
- Chang, R. (1999). *Química*. México: Mc Graw Hill
- Chastrette, M. y Franco, M. (1991). La Reacción Química: Descripciones e Interpretaciones de los Alumnos de Liceo. *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (3), 243-247.
- Chittleborough, G. (2014). The Development of Theoretical Frameworks for Understanding the Learning of Chemistry. In I. Devetak y S. A. Glažar (Eds.), *Learning with Understanding in the Chemistry Classroom* (pp. 25-40). Dordrecht: Springer.
- De Vos, W. and Verdonk, A. (1985). A new road to reactions Part 1. *Journal of Chemical Education*, 62(3), 238-240.
- Driver, R., Guesne, E. y Tiberhein, A. (1989). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata.
- Driver, R. y Oldham, V. (1998). Un enfoque constructivista del desarrollo curricular en ciencias. En R. Porlán, E. García y P. Cañal (Comps.), *Constructivismo y Enseñanza de las ciencias* (pp.113-133). Sevilla: Díada.
- Duschl, R. (1997). Fundamentos de la enseñanza de las ciencias. En R. Duschl. *Renovar la enseñanza de las ciencias* (pp. 17-32). Madrid: Narcea.
- Ernest, P. (1995). The one and the many. In L. P. Steffe and J. Gale (Eds.), *Constructivism in Education*, (pp. 459-486). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associate, Publishers.
- Flores, F., Gallegos, L. y Reyes, F. (2007). Perfiles y orígenes de las concepciones de ciencia de los profesores mexicanos de química. *Perfiles educativos*, 116(29), 60-84.

- Furió, C. y Furió, C. (2000). Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. *Educación química*, 11(3), 300-308.
- Gabel, D. (1998). The Complexity of Chemistry and Implications for Teaching. In B.J. Fraser and K.G. Tobin (eds.), *International Handbook of Science Education (Pt. 1)*, 233-248. Great Britain: Kluwer Academic Publishers.
- Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548-554.
- Galagovsky, L., Rodríguez, M., Stamati, N y Morales, L. (2003). Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de ciencias naturales. Un ejemplo para el aprendizaje del concepto de Reacción Química a partir del concepto de Mezcla. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), 107-121.
- García, P. y Sanmartí, N. (2006). La modelización: una propuesta para repensar la ciencia que enseñamos. En M. Quintanilla, & A. Adúriz-Bravo (eds.), *Enseñar Ciencias en el nuevo milenio: Retos y propuestas*. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile (279-297).
- Garriz, A. (1997). La química y los contenidos escolares. En J. González, A. León, y N. Venegas (Eds.), *Contenidos Relevantes en Ciencias Naturales para la Educación Básica* (pp.19-38). México: Fundación SNTE.
- Garriz, A. (1998). Una propuesta de estándares nacionales para la educación científica en el bachillerato. La corriente educativa Ciencia-Tecnología-Sociedad. *Ciencia*, 49(1), 27-34.
- Garriz, A. (2000a). De ideas previas y enseñanza de la química. *Educación Química*, 11(2), 211-213.
- Garriz, A. (2000b). Más sobre ideas previas y enseñanza de la química. *Educación Química*, 11(3), 291-292.
- Giere, R. (1999a). Del realismo constructivo al realismo perspectivo. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, 9-13.
- Giere, R. (1999b). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, 63-70.
- Gil, D., Carrascosa J. y Martínez F. (2000). Una disciplina emergente y un campo específico de investigación. En F. Perales y P. Cañal (Coords.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp.11-34). España: Marfil

- Gillespie, R. (1997). The great ideas of chemistry. *Journal of Chemical Education*, 74(7), 862-864.
- Gómez, A. (2008). Las concepciones alternativas, el cambio conceptual y los modelos explicativos del alumnado. En C. Merino, A. Gómez y A. Adúriz-Bravo (Coords.), *Áreas y Estrategias de Investigación en la Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 13-32). Barcelona: UAB.
- Guidoni, P. (1985). On Natural Thinking. *International Journal of Science Education*, 7(2), 133-140.
- Gutiérrez, R. (2001). Mental Models and the fine structure of Conceptual Change. In R. Pinto and S. Surinach (eds.), *Physics Teacher Education Beyond 2000* (pp. 35-44). Paris: Elsevier Editions.
- Gutiérrez, R. (2004). La modelización en los procesos de enseñanza-aprendizaje. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 42, 8-18.
- Hatzinikita, V., Koulaidis, V. y Hatzinikitas, A. (2005). Modeling Pupils' Understanding and Explanations Concerning Changes in Matter. *Research in Science Education*, 35, 471-495. doi: 10.1007/s11165-004-8321-2.
- Hernández, G. y López, N. (2009). Obstáculos para la construcción del concepto reacción química. Una propuesta para superarlos. En J. Chamizo (Coord.), *METL2, Papeles de Seminario de Investigación Educativa*. (pp.153-169). México: UNAM. Recuperado de: <http://depa.fquim.unam.mx/sie/METL2.pdf>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación 5ª edición*. México: McGrawHill.
- Hesse, J. and Andersson C. (1992). Students' Conceptions of Chemical Chance. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(3), 277-299.
- Hierrezuelo, J. y Montero, A. (1989). *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la física y la química*. Madrid: Laia.
- Izquierdo, M., Espinet, M., García, M., Pujol, R. y Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las ciencias*, Número extraordinario, 79-91.
- Izquierdo, M. (2003). Enseñanza y conocimiento especializado. Conocimiento y conceptos. En M. Cabré, J. Freixa y C. Tebe (Eds.), *Terminología y conocimiento especializado* (pp.55-86). Barcelona: Universitat Pompeu Fabra.

- Izquierdo-Aymerich, M. (2004). 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-Aymerich, M. (2005). Hacia una teoría de los conocimientos escolares. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), 111-122.
- Izquierdo, M. (2005). La enseñanza de las ciencias para la ciudadanía. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 17, 1-5.
- Izquierdo, M., y Adúriz, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27-43. doi: 10.1023/A:1022698205904
- Izquierdo, M., Sanmartí, N. y Estaña, J. (2007). Actividad química escolar: modelización metacognitiva del cambio químico. En M. Izquierdo, A. Caamaño y M. Quintanilla (Eds.), *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar* (pp.141-163). España: UAB.
- Johnstone, A. H. (1982). Macro- and micro- chemistry. *School Science Review*, 64(227), 377-379.
- Johnstone, A.H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Instruction*, 7, 75-83.
- Johnstone, A.H. (1993). The Development of Chemistry Teaching. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-705.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de las ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- Justi, R. & Gilbert, J. (2000). History and philosophy of science through models: some challenges in the case of 'the atom'. *International Journal of Science Education*, 22(9), 993-1009.
- Justi, R. & Gilbert, J. (2002). Models and Modelling in chemical education. In J.K. Gilbert et al. (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp.47-68). Kluwer Academic publishers. Dordrecht.
- Kind, V. (2004). Más Allá de las Apariencias. *Ideas previas de los Estudiantes sobre Conceptos Básicos de Química*. México: Aula XXI Santillana.
- López-Mota, A. y Guerra, M.T. (2011). *Las ciencias naturales en educación básica: formación de la ciudadanía para el siglo XXI*. México: SEP.
- López-Mota, A., Rodríguez Pineda, D., Reyes, F., Flores, M., Martínez, T. y López, C. (2012). *Balance De Dos Líneas De Investigación Para El Desarrollo Curricular Y El Diseño De*

Estrategias Didácticas En La Educación En Ciencias: Cambio Conceptual Y Modelización. Ponencia presentada en el III Congreso Internacional y VIII Nacional de Investigación en Educación, Pedagogía y Formación Docente, realizado del 22 al 24 de agosto en Bogotá, Colombia.

López-Mota, A. y Rodríguez Pineda, D. (2013). Anclaje de los Modelos y la Modelización Científica en Estrategias Didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, 2008 -2013.

López-Mota, A. y Moreno-Arcuri, G. (2014). Sustentación teórica y descripción metodológica del proceso de obtención de criterios de diseño y validación para secuencias didácticas basadas en modelos: el caso del fenómeno de la fermentación. *Bio-Grafía. Escritos sobre la biología y su enseñanza*, 7(13), 109-126.

López-Valentín, D. M. (2008). *La enseñanza y el aprendizaje del concepto de elemento químico en la educación secundaria y el bachillerato. Análisis crítico y propuesta de mejora* (Tesis doctoral inédita). Universitat de València, Valencia, España.

Márquez, C. (2008). La comunicación en el aula. En C. Merino, A. Gómez y A. Adúriz-Bravo (Coords.), *Áreas y Estrategias de Investigación en la Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 127-146). Barcelona, España: Universitat Autònoma de Barcelona.

Martín Del Pozo, R. (1998). La construcción didáctica del concepto de cambio químico. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 17, 65-75.

Meheut, M., Saltiel, E. & Tiberghien, A. (1985). "Pupils' (11-12 years old) Conceptions of Combustion". *European Journal of Science Education*, 7, 83-93.

Merino, C. y Sanmartí, N. (2008). How Young children model chemical change. *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 196-207. doi: 10.1039/b812408f

Merino, C. e Izquierdo, M. (2011). Aportes a la modelización según el cambio químico. *Educación química*, 22(3), 212-223.

Méheut, M. y Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. *Internacional Journal of Science Education*, 5(26), 515-535. doi:10.1080/09500690310001614762

Miguel-López, I., Merino, C., Reyes-Cárdenas, F. y López-Valentín, D.M. (2014). Construcción del modelo científico escolar de arriba como eje directriz para el diseño de una secuencia didáctica sobre el cambio químico. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*. Número extraordinario, 792-800. ISSN: 0121-3814

- Mocerino, M. (2009). Emphasizing Multiple Levels of Representation to Enhance Students' Understandings of the Changes Occurring during Chemical Reactions. *Journal of Chemical Education*, 86(12), 1433-1436.
- Moore, W. (1986). *Fisicoquímica Básica*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana.
- Morcillo Jesús (1989). *Temas básicos de química (2ª edición)*. Alhambra Universidad.
- Morrison, R. y Boyd, R. (1998). *Química Orgánica*. New York: Addison-Wesley Iberoamericana.
- Pozo, M. y Gómez-Crespo, M. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- Prieto, T. y Watson, R. (2007). Trabajo práctico y concepciones de los alumnos: la combustión. En M. Izquierdo, A. Caamaño y M. Quintanilla (Eds.), *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar* (pp.115-140). España: UAB.
- Quintanilla, M., Merino, C. y Daza, S. (2010). *Unidades Didácticas en Química. Su contribución a la promoción de competencias de pensamiento científico*. Colombia: Santander.
- 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.
- Reyes-C, F. (2006). *Concepciones alternativas de estudiantes sobre el concepto de reacción Química: Un ejercicio de meta-análisis* (Tesis de Maestría). UNAM, México.
- Reyes- C, F. y Garritz, A. (2006). Conocimiento pedagógico del concepto de reacción química en profesores universitarios mexicanos. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11(3), 723-753.
- Ribeiro, G., Costa Pereira, D. & Maskill, R. (1990). Reaction and spontaneity: The influence of meaning from everyday language on fourth year undergraduates' interpretations of some simple chemical phenomena. *International Journal of Science Education*, 12(4), 391-401.
- Roca, M. (2005). Las preguntas en el proceso de enseñanza- aprendizaje de las ciencias. *Educación*, (Abril-Junio), 73-80.
- Salinas, I., Covitt, B. y Gunckel, K. (2013). Sustancias en el agua: progresiones de aprendizaje para diseñar intervenciones curriculares. *Educación química*, 24(4), 391-398.
- Sánchez G. y Valcárcel M. (1993). Diseño de unidades didácticas en el área de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), 33-44.

- Sanmartí, N. (2002). Organización y secuenciación de las actividades de enseñanza /aprendizaje. En N. Sanmartí, *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria* (pp.169-203). Madrid: Síntesis Educación.
- Sanmartí, N. (2005). La unidad didáctica en el paradigma constructivista. En D. Couso, E. Cadillo, A, Perafán y A. Adúriz-Bravo (Eds.), *Unidades didácticas en ciencias y matemáticas* (pp. 13-57). Bogotá: Magisterio.
- Sanmartí, N., Márquez, C. (2012). Enseñar a plantear preguntas investigables. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 70, 27-36.
- Schwarz, C., Reiser, B., Davis, E., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. & Krajcik, J. (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- SEP. (2006). Programa de estudios. *Educación Básica Secundaria. Ciencias. México: SEP.*
- SEP. (2011). Programas de Estudio. Guía para el Maestro. *Educación Básica Secundaria. Ciencias. México: SEP,*
- Solsona, N., Izquierdo, M. y Gutiérrez, R. (2000). El uso de razonamientos causales en relación con la significatividad de los modelos teóricos. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(1), 15-23.
- Stavridou, H. & Solomonidou, C. (1998). Conceptual reorganization and the construction of the chemical reaction concept during secondary education. *International Journal of Science Education*, 20(2), 205- 221.
- Talanquer, V. (2013). Progresiones de aprendizaje: promesa potencial. *Educación Química*, 24(4), 362-364.
- Talanquer, V. e Irazoque G. (2015). *Química. Ciencias 3*. México: Castillo, (pp. 248-255).
- Treagust, D., Duit, R. & Nieswandt, M. (2000). Sources of students' difficulties in learning Chemistry. *Educación Química*, 11(2), 228-235.
- Wandersee, J., Mintzes, J. and Novak, J. (1994). Research on alternative conceptions in science. In Gabel, D. (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (pp. 177-210). New York: Macmillan.
- Watson, R., Prieto, T. & Dillon, J. (1995). The effect of practical work on students' understanding of combustion. *Journal of Research in Science Teaching*, 12(5), 487-502.
- Watson, R., Prieto, T. & Dillon, J. (1997). Consistency of Students Explanations about Combustion. *Science Education*, 81, 425-444.

Fuentes electrónicas:

<http://quimicaorganicabiologiafaceuc.blogspot.mx/2014/07/fundamentos-de-las-reacciones-de-los.html>. Consultado el 18 de julio de 2014.

<https://www.eluniversal.com.mx/articulo/ciencia-y-salud/ciencia/2016/12/22/nuevo-record-mundial-para-el-material-mas-resistente-al> Consultado el 9 de octubre de 2019.

<http://organica1.org/qo1/MO-CAP2.htm# Toc476376065> Consultado el 22 de noviembre de 2018

<http://emiindustrial2010-quimicaiemi.blogspot.com/2010/08/> Consultado el 14 de abril de 2018

ANEXOS

ANEXO 1

El mapa conceptual diseñado para el fenómeno de la combustión que aquí se presenta, –extraído del capítulo 5, apartado – es con el objetivo de facilitar la visualización de cada una de sus secciones que se aprecian más adelante –con letra de mayor amplitud– los contenidos de acuerdo a su nivel de complejidad y abstracción.

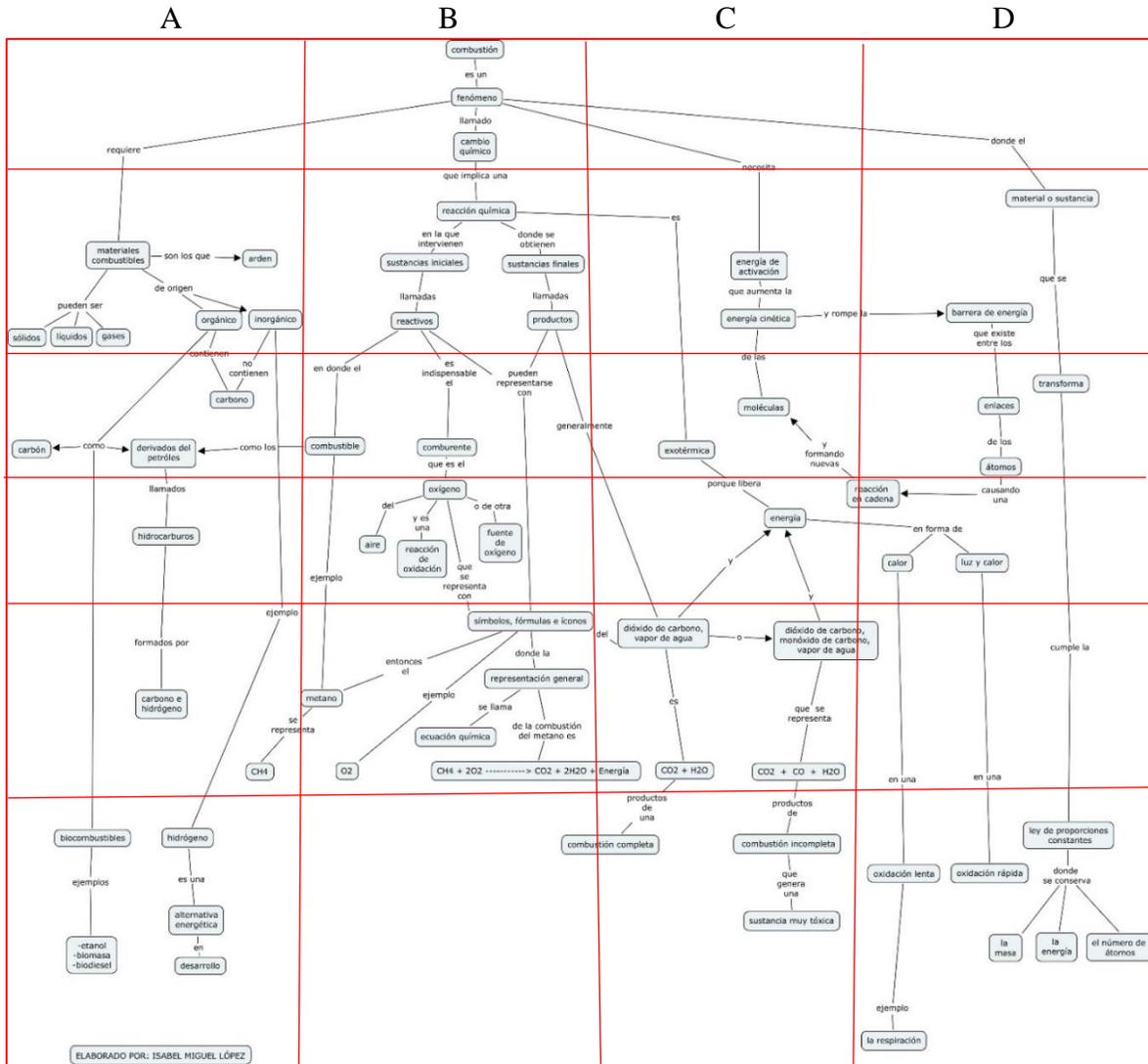
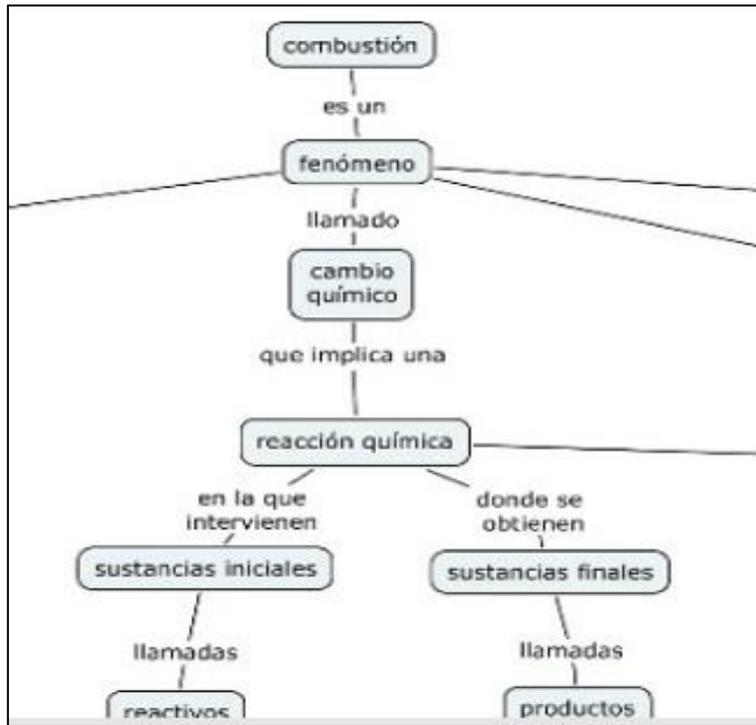
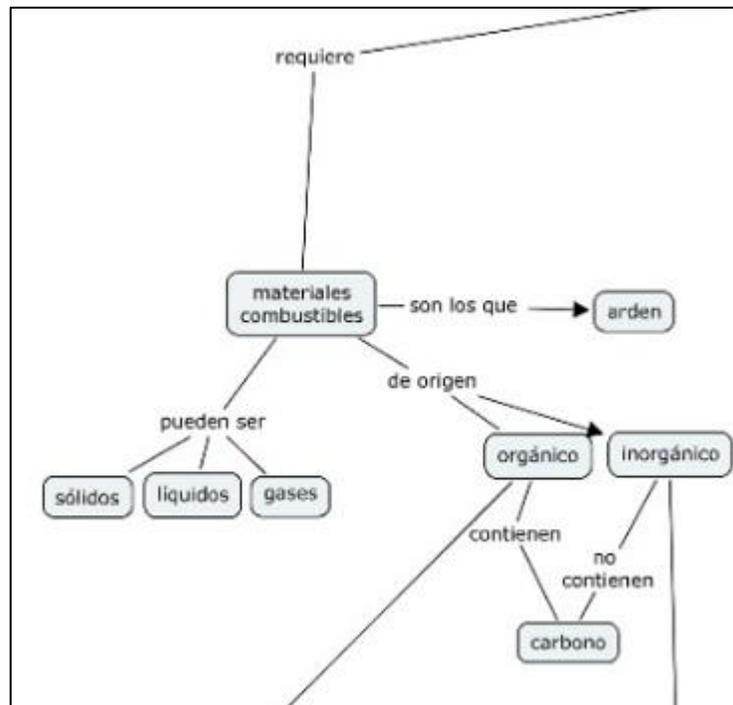


Figura 5.5.b Mapa conceptual de la combustión, dividido en secciones de acuerdo al nivel de complejidad y abstracción de los contenidos.

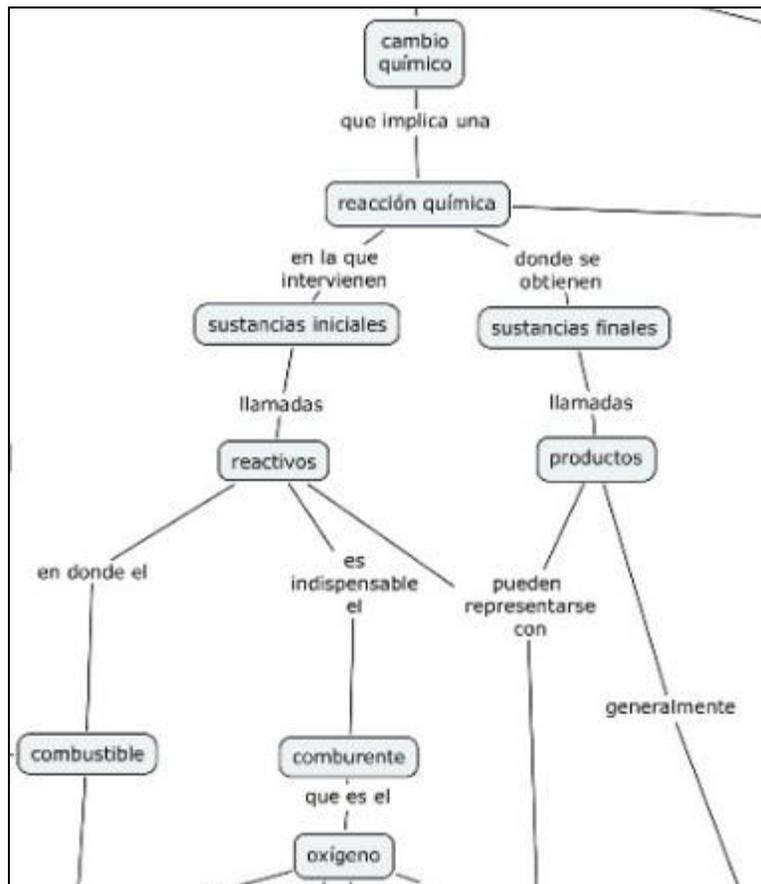
NIVEL 1 A-D



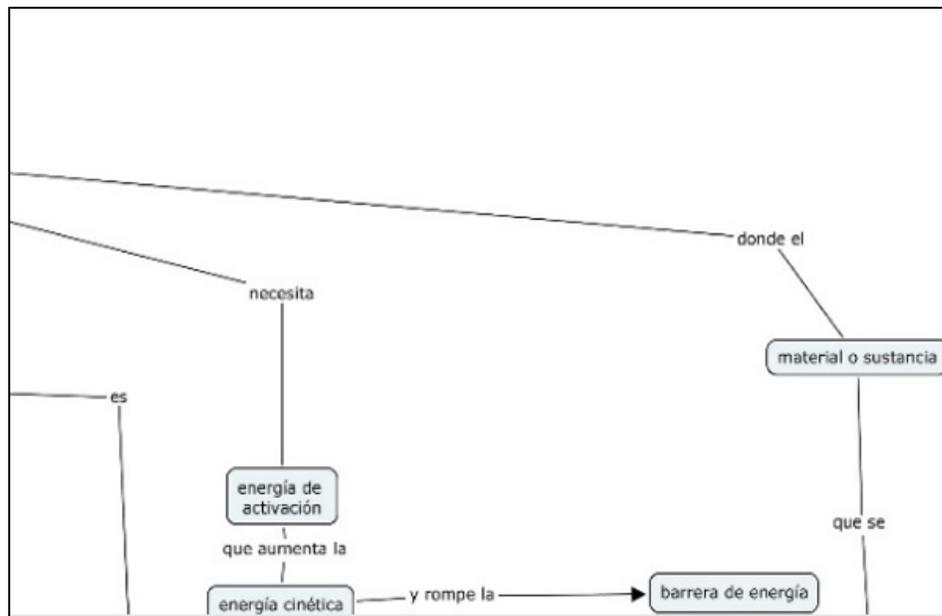
NIVEL 2 A



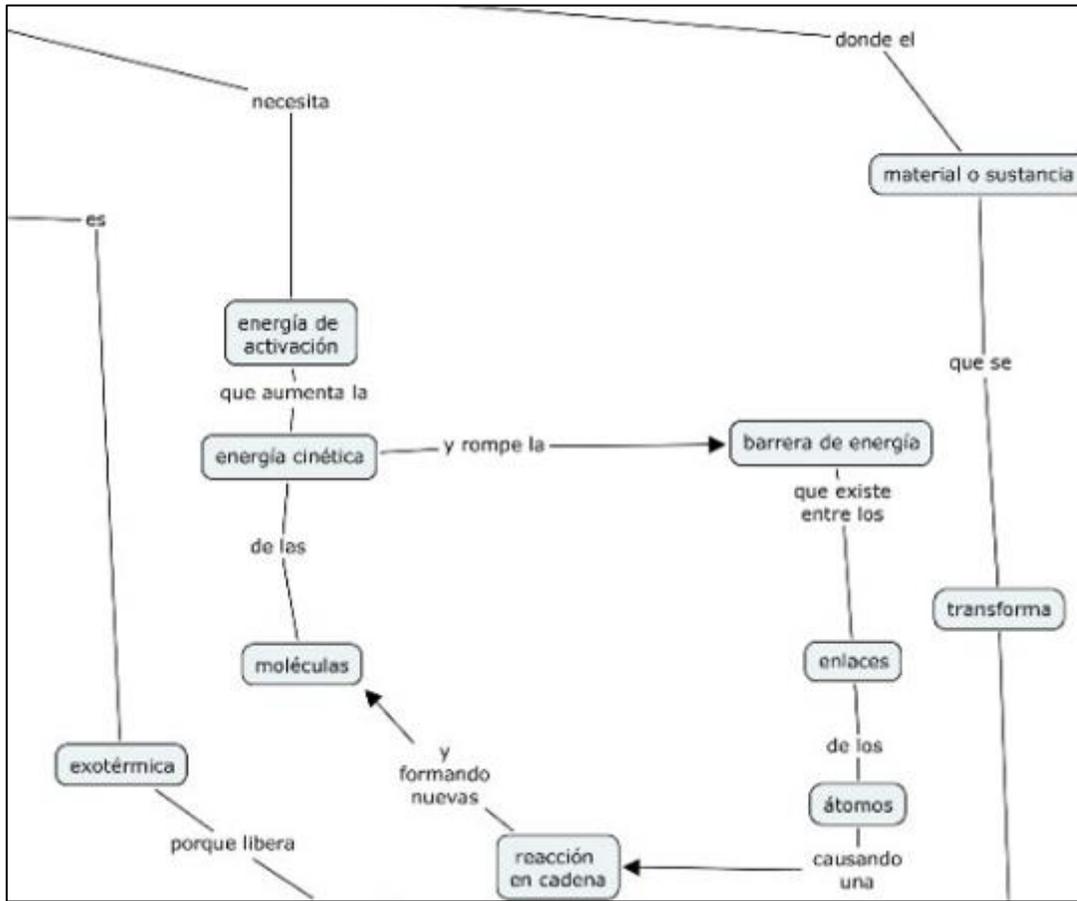
NIVEL 2 B



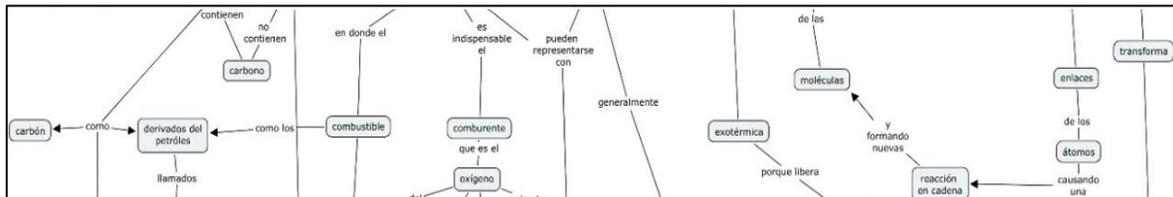
NIVEL 2 C-D



NIVEL 2-D



NIVEL 3 A-D



ANEXO 2

Secuencia Didáctica “La Combustión”

ACTIVIDAD DE MOTIVACIÓN E INICIO DE TRABAJO COLABORATIVO

Objetivo: Que los alumnos aprendan a buscar información y se acerquen a las explicaciones del fenómeno por su propia cuenta; así como que se integran al trabajo en equipos de forma colaborativa.

Duración total: 50 min

Se organizan equipos de no más de seis integrantes y el profesor comenta a los alumnos que se planteen sus propias interrogantes sobre el fenómeno observado, que anoten las cinco preguntas que consideren más interesantes y traten de darles respuesta con la información que cada uno trae, es decir deben socializar la información, discutir y decidir cuál es la respuesta que consideran adecuada.

Tiempo aproximado: 40 minutos

Lugar: Aula de clase.



Los alumnos socializan la información.

Una vez que los alumnos contesten sus propias interrogantes, se debe socializar la información para determinar cuáles son sus intereses y conducir la estrategia de tal forma que se cubra también este aspecto. ¿Cómo? El profesor tratará de ir dando algunas respuestas sobre la marcha de las actividades y orientará a los alumnos para encontrarlas por ellos mismos.

Tiempo aproximado: 10 min para socializar la información.

Nota: con esta actividad no sólo se atienden los intereses de los alumnos; sino que también aprenden sobre el fenómeno al realizar la búsqueda de información para contestar sus interrogantes

ACTIVIDADES DE INICIO O EXPLORACIÓN

Objetivo: Recuperar las concepciones alternativas de los estudiantes con respecto a la combustión para identificar su modelo explicativo de partida (MEI).

Experimento: Quemar una hoja de papel



Indicaciones para el profesor(a): Se propone que esta actividad se realice en el laboratorio.

Tiempo estimado: 15 min.

Sujetar una hoja de papel con las pinzas, acercar un cerillo sin encender

Preguntar a los estudiantes por qué no se quema el papel.

Acto seguido encender el cerillo y acercarlo a la hoja de papel

Pedirle al alumnado que observe y plantear las siguientes preguntas:

1.- ¿Qué pasa?

2.- ¿Cómo pasa?

3.- ¿Por qué pasa? (Roca, 2005)

Solicitar a los estudiantes que anoten sus observaciones.

Una vez que los estudiantes hayan respondido las preguntas, se propone realizar una “lluvia de ideas” de sus respuestas y justificaciones

Tiempo estimado: 5 min

INTRODUCCIÓN DE NUEVOS PUNTOS DE VISTA (1)

Objetivos:

- Distinguir los materiales combustibles de los que no lo son
- Interaccionar con combustibles sólidos, líquidos y gases

Actividad experimental: “No todo puede quemarse”

Lugar: Laboratorio de Ciencias

Tiempo aprox. 20 min

Materiales: Roca, metal, madera, azúcar, agua, sal, gas del encendedor, alcohol, carbón, unicel, papel

Duración: 45 min.

Tratar de quemar diversos materiales:

Papel, piedra, madera, alcohol, carbón, plástico, metal, gas del encendedor.



COMBUSTIBLES Y NO COMBUSTIBLES

Identificar cuáles se queman (combustibles) y cuáles no se queman (incombustibles).

Con este ejemplo los alumnos se dan cuenta que no todos los materiales son combustibles

Esta actividad es demostrativa; conforme se experimenta con cada material para determinar si es combustible o no, ha de haber interacción entre el profesor (a) y los alumnos para describir las características de los materiales combustibles: ¿En qué estado de agregación está? ¿Cómo es la llama que se produce?, ¿A qué crees que se deba esto? ¿Por qué será que no todas se queman?

En el cuaderno de trabajo, describir con sus propias palabras a las sustancias combustibles

Con esta actividad se introducen los conceptos: sólidos, líquidos, gases, orgánico, carbono, inorgánico

El profesor(a) interactúa con los alumnos y describen las características del cambio químico; de la transformación de reactivos a productos, se habla un poco más sobre la reacción química.

INTRODUCCIÓN DE NUEVOS PUNTOS DE VISTA (2)

Objetivo:

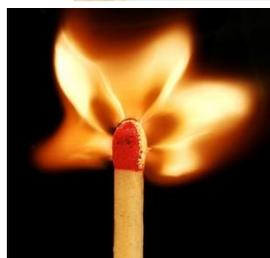
Comprender qué es la energía de activación y porqué es necesaria para iniciar la combustión

Experimentos: “Energía de activación”

1. ¿Qué onda con la energía?

Mostrar un cerillo sin encenderlo y preguntar: ¿Tú consideras que este es un material combustible?, ¿Por qué?, ¿De qué tipo de material esta hecho?, ¿Por qué piensas que mi cerillo no se enciende espontáneamente? ¿Qué necesita para encenderse?

También mostrar un encendedor y una vela sin encender y realizar las mismas preguntas.



Después raspar el cerillo en la caja para que los alumnos lo observen; con el cerillo encender la vela. Friccionar el encendedor para que se encienda. Mientras se realizan estas actividades, establecer un diálogo bidireccional con los alumnos en donde se planteen preguntas entre ellos, hacia el profesor y del profesor hacia los alumnos, para llegar a la conclusión que al friccionar el cerillo con la superficie rugosa de la caja, se produce calor generando una chispa y con ello se inicia la combustión del cerillo. Llegar junto con los alumnos, también a la conclusión que lo mismo ocurre con el encendedor al friccionar la rosca de metal con la piedra de lija que tiene el encendedor y que la vela requiere de “algo” para que se encienda e inicie la combustión.

Al final encender la vela y concluir junto con los alumnos que la llama proporciona la energía para que se inicie la combustión y esa es la llamada energía de activación.

INTRODUCCIÓN DE NUEVOS PUNTOS DE VISTA (3)

Objetivo: Que los estudiantes observen y analicen el fenómeno de la combustión a partir de un experimento sencillo y fácil de realizar para ir construyendo los modelos parciales que le permitan explicar el fenómeno.

PRODUCTO: Realizar el modelo parcial correspondiente.

Para cerrar, el profesor (a) interviene y explica que la llama tiene una elevada temperatura, suficiente para ocasionar el incremento de la energía cinética de las moléculas; provocando la ruptura de los enlaces C-H y ocasionándose choques (colisiones moleculares) a muy alta velocidad entre las moléculas del combustible y el oxígeno, sustancias iniciales-reactivos... para producir sustancias finales- productos
completar la idea: clara, simple comprensible)

Actividad experimental: “La combustión de una vela”

Tiempo aproximado: 40 min

Realizar el experimento de la combustión de una vela y analizar la presencia de gotitas de agua en las paredes del vaso. Entre el profesor y los alumnos concluyen que el vapor de agua es un producto de la reacción de combustión. Los alumnos expresan su modelo parcial en donde se incorpora el concepto de dióxido de carbono y vapor de agua como productos de la combustión.

Material:

1. Un plato extendido
2. Una vela
3. Un vaso de vidrio
4. Cerillos

Montaje:

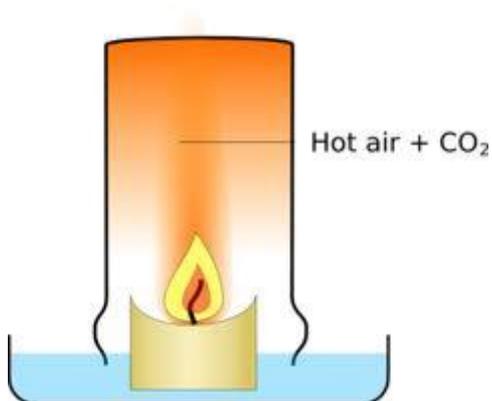
1. Fijar la vela en el plato
2. Encender la vela
3. Colocar el vaso invertido cubriendo la vela.
4. Observar (la llama se apaga, presencia de humo y vapor de agua)
5. Analizar el fenómeno paso a paso para que los alumnos vayan construyendo sus modelos)



INTRODUCCIÓN DE NUEVOS PUNTOS DE VISTA (4)

Experimento 2. "Detecta el CO₂ invisible"

Analizar la presencia de Dióxido de carbono (CO₂), como producto de la combustión.



Preparar una solución de hidróxido de calcio, adicionarle 2 gotas de fenolftaleína y colocar 20 ml de esta solución en el plato sobre el cual está colocada la vela.

La fenolftaleína es un indicador que da una coloración rosa mexicano a la solución de pH básico (por la presencia del hidróxido de calcio).

Cuando se produce el dióxido de carbono, este se disuelve en la solución y reacciona con el hidróxido de calcio para formar carbonato de calcio (de color blanco), que se precipita en el fondo del plato; haciendo que la solución cambie de color y se torne transparente porque el pH de la solución ya no es básico sino ácido.

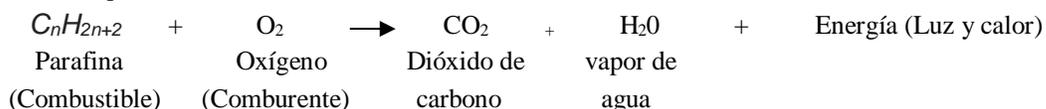
PRODUCTO: Modelo parcial en donde se observa la presencia de CO₂ como producto de la combustión

El profesor indica que se produce un gas el cual no se ve, pero que está ahí y se va a identificar con la sustancia (indicadora), disuelta en el agua que contiene el plato.

Se analiza también la presencia del humo y se explica que éste es un producto de la combustión incompleta, es decir cuando no se ha quemado completamente el combustible; por lo tanto, es un residuo del mismo.

Modelo esperado:

Ecuación química, (Nivel simbólico)



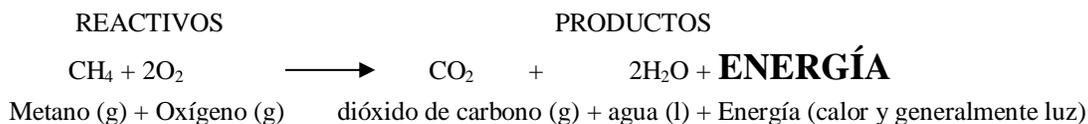
Nivel sub-microscópico:

Los humos que se ven, son moléculas de dióxido de carbono.

INTRODUCCIÓN DE NUEVOS PUNTOS DE VISTA (5)

Objetivo: Introducir el concepto de conservación de la masa

Balacear por el método de tanteo la siguiente reacción de combustión:



Se analiza la cantidad de átomos que tiene cada molécula tanto en los reactivos como en los productos:
 La misma cantidad de átomos que participan en la reacción como reactivos en la reacción, es la misma cantidad que se tiene como productos; por lo tanto se cumple la ley de la conservación de la masa enunciada por Antonio Lavoisier: “La masa no se crea ni se destruye; sólo se transforma

REACTIVOS	PRODUCTOS
1 átomo de C	1 átomo de C
4 átomos de Hidrógeno	4 átomos de Hidrógeno
4 átomos de Oxígeno	4 átomos de Oxígeno

Después de balancear la ecuación retomar los experimentos realizados, analizarlos nuevamente y discutirlos con los alumnos; con esta actividad. Los estudiantes recuperan las entidades, relaciones y condiciones que fueron construyendo en los modelos parciales y ahora tratarán de integrar todos los componentes del modelo para realizar su explicación.

Una vez realizado lo anterior, el profesor da una explicación sobre los electrones de enlace; indica que los electrones se encuentran unidos por atracciones electrostáticas, -explicar este concepto con imanes- decir que con la energía de activación esas atracciones se ven afectadas y se desestabilizan, por lo que se generan nuevas atracciones con las que los átomos de una molécula permanecen unidos; estas atracciones son llamadas enlaces. Los nuevos enlaces que se forman tienen mayor estabilidad; es decir requieren menor energía para estar unidos por lo que les sobra una determinada cantidad de energía y es la que se desprende en forma de energía calorífica y en general luminosa, aunque no en todos los casos

Modelos Esperados:

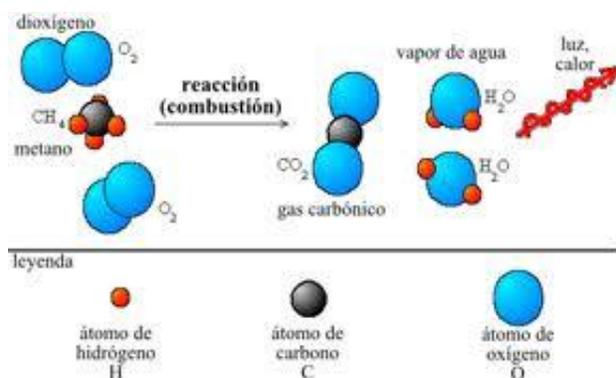
Se espera avanzar en la construcción de sus modelos en el nivel sub-microscópico y simbólico al representar la reacción de combustión con la ecuación química

Interpretar la Ley de la conservación de la materia (Conservación de la masa) al calcular el número de átomos que están presentes tanto en los reactivos como en los productos.

ACTIVIDADES DE SINTESIS

Objetivo: Comunicar de diferentes maneras los modelos construidos.

En esta actividad los alumnos comunican lo aprendido preparando una presentación en Power Point, un poster, elaborando modelos tridimensionales con esferas de unicel y palillos.



ACTIVIDAD DE GENERALIZACIÓN O DE APLICACIÓN

Objetivo: Aplicar el modelo construido en otro fenómeno relacionado

Relacionar con lo que pasa en el cuerpo humano

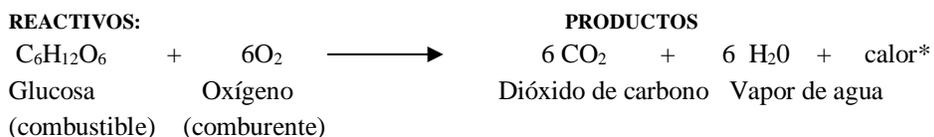
LA RESPIRACIÓN

Se prepara una solución de hidróxido de calcio, adicionar una gota de fenolftaleína y colocar 10 ml de la solución en un tubo de ensayo (preparar un tubo por alumno). Cada alumno introduce el extremo de un popote en la solución y sopla a través del otro extremo del popote.

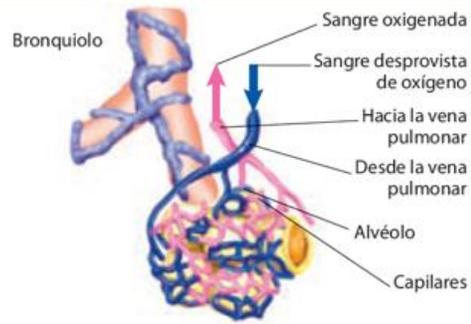
El color de la solución cambia de rosa a transparente y se observa turbia por la presencia del carbonato de calcio formado por el dióxido de carbono que es producto de la combustión de la glucosa en el cuerpo humano y no se produce luz porque es una reacción de oxidación lenta.

El profesor interviene al final para analizar el fenómeno de la respiración y explica que es una reacción de oxidación lenta; por ese motivo se produce energía, pero no se produce luz.

Respiración:



*La energía calorífica que es la que mantiene la temperatura corporal.



Esta reacción es lo que se conoce como **respiración**.

Las células realizan este proceso para liberar energía química almacenada en los alimentos.

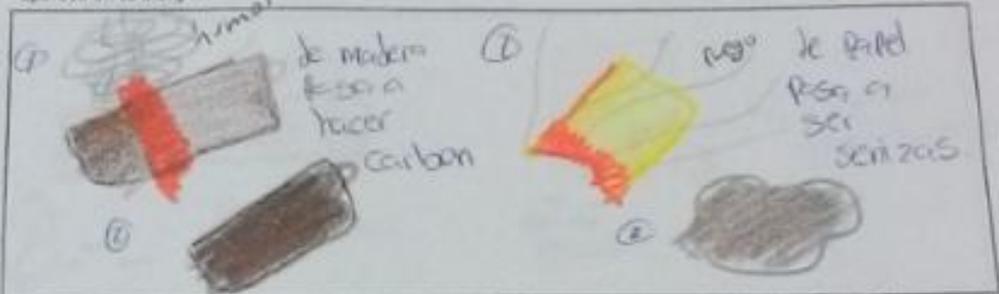
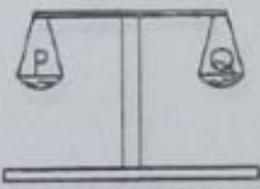
Es una reacción de oxidación lenta

ANEXO 3

INSTRUMENTO I EJEMPLO DE UN PRECUESTIONARIO COMPLETO

¿Y TÚ QUE PIENSAS DE LA REACCIÓN QUÍMICA?

INSTRUCCIONES. Por favor contesta con tus propias palabras las siguientes preguntas:

- ¿Qué crees que le sucede a un material como la madera o el papel cuando se queman? Se cambia su estructura química por que se lleva a cabo un fenómeno químico
- Expresa mediante un dibujo lo que escribiste en la pregunta anterior. Por favor ponle nombre a cada cosa que aparece en tu dibujo.

- ¿De qué piensas que está formada la llama que se genera? por una alta temperatura y por un punto de ebullición
- ¿Por qué crees que unas cosas pueden quemarse y otras no? por que unas ~~son~~ reaccionan con el fuego
- ¿Cuáles crees que son las condiciones necesarias para que un material se quemé? que sea un conductor de calor y que su estructura química sea labil y que reaccione con el calor o el fuego
- ¿Por qué si se le sopla a una fogata, se enciende más rápido? por que hasti se calienta mas rapido la temperatura y con ello el fuego
- 

Se ha colocado una pequeña cantidad de estropajo de hierro en el platillo P y se han colocado pesas en el platillo Q para equilibrar la balanza.

Se sella entonces el estropajo de hierro y se calienta al rojo.
Se forma un óxido negro y se recoge cuidadosamente, poniéndolo en P.

¿Qué piensas que ocurrió al platillo P?
Explica tu respuesta.

Se combustiona el estropajo de hierro y con ello baja su peso

ANEXO 4

INSTRUMENTO II EJEMPLO DE UN PRECUESTIONARIO COMPLETO

¿Y TÚ QUE PIENSAS DE LA REACCIÓN QUÍMICA?

QUESTIONARIO

Nombre del alumno (o): Branco Abmay Esquivel Garcia con 3:6

INSTRUCCIONES. Por favor contesta con tus propias palabras las siguientes preguntas:

- ¿Qué crees que le sucede a un material como la madera o el papel cuando se queman? Cambia su forma original, desaparecen gases como CO₂ y O₂ oxidándose, sacando energía humana dejando
- Expresa mediante un dibujo lo que escribiste en la pregunta anterior. Por favor ponle nombre a cada cosa que aparezca en tu dibujo.

$CH_4 + 2O_2 \rightarrow 2H_2O + CO_2$
- ¿De qué elementos que está formado la forma que se genera? de gases como CO₂ y H₂ desde el carbono
- ¿Por qué crees que esos gases pueden quemarse y otros no? por que se oxidan reaccionan con el oxígeno
- ¿Cuáles crees que son las condiciones necesarias para que un material se queme? que reaccione con el oxígeno
- ¿Por qué si se le agrega a una fogata, se enciende más rápido? el oxígeno se quema más rápido

Se ha colocado una pesquero con el mismo peso de materia en cada uno de los platos P y Q y se han colocado gases en el plato Q para realizar el experimento.

¿Qué crees que ocurrirá con el plato Q?

¿Por qué?

Pesa más el p por el peso del oxígeno