

**Diseño de un material didáctico digital para el reconocimiento e integración de los niveles
de representación de la química**

Leidy Dávila González
Ingrid Yulieth Rengifo Velasco

Universidad del Valle
Instituto de Educación y Pedagogía
Área de Educación en Ciencias y Tecnología
Licenciatura en educación básica con énfasis en ciencias naturales y educación ambiental
Santiago De Cali
2022

**Diseño de un material didáctico digital para el reconocimiento e integración de los niveles
de representación de la química**

Leidy Dávila González
Ingrid Yulieth Rengifo Velasco

Trabajo de grado para optar al título de: Licenciadas en educación básica con énfasis en Ciencias
Naturales y Educación Ambiental

Trabajo dirigido por:
Mg. Robinson Viafara Ortiz

Universidad del Valle
Instituto de Educación y Pedagogía
Área de Educación en Ciencias y Tecnología
Licenciatura en educación básica con énfasis en ciencias naturales y educación ambiental
Santiago De Cali
2022

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco al Creador por permitirme alcanzar este logro. En segundo lugar, a los profesores que hicieron parte de mi formación durante toda la carrera, en especial a los del programa de licenciatura. También a nuestro apreciado tutor Robinson Viafara por guiarnos, ayudarnos y aconsejarnos. Así mismo, agradezco infinitamente a mis padres Ana Ofelia González y Oscar Dávila, quienes me apoyaron siempre de manera incondicional, también a mis familiares, amigos y compañeros, en especial a mi compañera Ingrid por su ayuda, esfuerzo y dedicación. Por último, pero no menos importante también quiero agradecer a la universidad del valle por brindarme herramientas y espacios que me ayudaron en mi formación académica, laboral y personal.

Leidy Dávila González.

Quiero hacer un agradecimiento muy especial a mi madre Zoraida Velasco y a mi padre Alejandro Rengifo, a quienes amo y admiro profundamente porque con su ejemplo de responsabilidad, tenacidad y persistencia me han guiado en el trayecto de mi vida y han sido una gran inspiración para construir lo que soy como persona, también les agradezco por respetar mis decisiones, por estar siempre para mí cuando he pasado por momentos de debilidad y tristeza y por apoyarme y motivarme para continuar adelante. A mi amado hermano Jhon Edinson Rengifo Velasco, a quien admiro enormemente por su capacidad intelectual y por su sentido de responsabilidad, lo cual ha significado un gran ejemplo para mí y se ha convertido en una motivación para esforzarme por alcanzar mis metas, también le agradezco porque, aunque me he equivocado muchas veces, ha confiado en cada una de mis capacidades y siempre está para mí cuando lo necesito.

También agradezco a alguien que supo llegar a mi corazón, Craig Michael Stevenson, quien con su amor incondicional llenó mi vida de grandes momentos de felicidad, le doy gracias por toda la paciencia que me tuvo y porque me permitió fluir libremente en mi proceso académico, aunque tuviera que sacrificar parte de nuestro tiempo juntos.

A mi compañera y coautora de este trabajo, Leidy Dávila, por sus ideas y su creatividad.

A nuestro carismático y paciente tutor, Robinson Viafara, quién con su amplio conocimiento y experiencia nos orientó y nos aterrizó cuando nos sentimos pérdidas durante este proceso.

A todo el equipo docente del Instituto de Educación y Pedagogía de la Universidad del Valle quienes, con sus ideas, conocimientos y formas de ver la educación, me enseñaron que, aunque la labor docente requiere de mucho esfuerzo y dedicación, si le ponemos pasión y creatividad es posible rescatar el gran valor que tiene esta profesión

Ingrid Yulieth Rengifo Velasco

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN	12
1.ANTECEDENTES	15
1.1. Dificultades relacionadas con la enseñanza y aprendizaje de los niveles de representación de la química.....	16
1.2. Alternativas relacionadas con la correcta interpretación de los niveles de representación de la química.....	18
1.3. Utilización de las TIC para favorecer las múltiples representaciones en la enseñanza de la química	19
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
3. JUSTIFICACIÓN	24
4. MARCO TEÓRICO.....	27
4.1. El conocimiento químico y los niveles de representación de la química	27
4.1.1. Descripción del modelo propuesto por Johnstone	28
4.1.2. Modelos alternos a la propuesta de Johnstone	30
4.1.3. Comparación de los diferentes modelos que han sido propuestos para abordar los niveles de representación de la química.....	36
4.1.4. Los niveles de representación y los marcos conceptuales para explicar las reacciones químicas	38
4.2. Desde los recursos educativos digitales hacia los materiales didácticos digitales	54

4.2.1 La variabilidad conceptual de los medios, recursos y materiales digitales educativos	54
4.2.1.1. Clasificando la diversidad de recursos educativos digitales	56
4.2.2 Los materiales didácticos digitales	58
4.2.3. Elementos a tener en cuenta en el diseño de materiales didácticos digitales	59
4.2.4. El proceso de desarrollo del Material Didáctico Digital	61
5. OBJETIVOS.....	64
5.1. Objetivo General	64
5.2. Objetivos Específicos.....	64
6. METODOLOGÍA	65
6.1. Enfoque metodológico.....	65
6.2. Procedimiento metodológico	66
6.2.1. Fase de diseño pedagógico del Material Didáctico Digital.....	67
6.2.1.1. Enfoque pedagógico.	67
6.2.1.2. Objetivos de aprendizaje.....	73
6.2.1.3. Destinatarios.....	73
6.2.1.4. Análisis didáctico del contenido.....	75
6.2.1.5. Estrategias.	83
6.2.1.5.1. El planteamiento de la gran idea y las sub-ideas.....	83
6.2.1.5.2. Relación entre el contenido conceptual seleccionado y las sub-ideas	86
6.2.1.5.3. La metáfora educativa	91

6.2.1.5.4. La narrativa y el lenguaje.....	94
6.2.2. Fase de diseño técnico del MDD.....	96
6.2.2.1. Características del MDD	96
6.2.2.2. Organización Técnica del MDD	96
6.2.2.2.1. Fases.....	96
6.2.2.2.2. Actividades.....	101
6.2.2.3. Planteamiento de la interfaz	105
6.2.2.3.1. Storytelling.....	105
6.2.2.3.2. Personajes	109
6.2.2.3.3. Escenarios	111
6.2.2.4. Tipo de navegación	113
6.2.3. Fase de materialización del prototipo en formato digital	116
6.2.3.1. Aspectos técnicos para el desarrollo del material didáctico digital.....	117
6.2.3.2. Resultados de materialización del prototipo del MDD.....	119
7. CONCLUSIONES.....	123
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
9. ANEXOS.....	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Niveles de representación de la química según Johnstone (1982).....	29
Figura 2. Comparación entre el modelo del triángulo plano de Johnstone (1991) y el modelo del tetraedro de Mahaffy (2006) que incluye el elemento humano.....	32
Figura 3. Tipos de conocimientos (Experiencias, modelos y visualizaciones) y las respectivas escalas, dimensiones y enfoques que Talanquer propone para abordar cada uno de ellos.	33
Figura 4. Triplete de la química expandido que representa la conexión entre el nivel experiencial y el mundo de las teorías y modelos en la química, propuesto por Dumon & Mzoughi-Khadhraoui (2014).	35
Figura 5. Algunas representaciones simbólicas de la reacción de combustión del ácido cítrico. .	83
Figura 6. Esquema de estructuración del contenido conceptual en la gran idea y las tres sub-ideas	87
Figura 7. Esquema que representa la relación entre las fases en las que se desarrolla cada misterio (metáfora) y la organización jerárquica del contenido (sub-ideas y reacciones químicas).	100
Figura 8. Ejemplificación de la biblioteca de fragmentos de código disponibles en Adobe Animate CC.	118
Figura 9. Personajes del MDD. El detective Homberg, acompañado del aldeano y la aldeana de Camiqui	120
Figura 10. Zona de concertación. Ambientación del exterior del castillo, donde los dos jóvenes aldeanos le solicitan ayuda al detective Homberg	120

Figura 11. Zona de selección del misterio. Ambientación del lobby del castillo donde se establece el orden para resolver los misterios.	121
Figura 12. Zona de misterio 1: el mensaje oculto. Ambientación de la habitación 1	121
Figura 13. Ambientación de otro espacio de la Habitación 1, aquí se presenta el mapa de navegación entre fases.....	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de diferentes modelos referentes a los niveles de representación de la química en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la química.	36
Tabla 2. Marcos conceptuales, conceptos estructurantes y niveles de formulación del concepto de cambio químico.....	41
Tabla 3. Propuesta para la integración de los niveles de representación de la química teniendo en cuenta los marcos conceptuales sugeridos por Arillo, del Pozo & Puig (2015, p. 24) y los niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico.	43
Tabla 4. Conceptualización de sustancias y mezclas diferenciando entre el nivel macroscópico y el submicroscópico.....	54
Tabla 5. Tipos de recursos educativos en línea según la clasificación de Area & Marzal (2016)	57
Tabla 6. Factores de diseño para materiales educativos multi-representacionales según Ainsworth (2006).....	60
Tabla 7. Marco de acceso que orienta el diseño del MDD para el caso específico del reconocimiento e integración de los niveles de representación de la química en la enseñanza de las reacciones químicas.....	70
Tabla 8. Actividades propuestas para desarrollar en cada fase correspondiente al Misterio 1...	101
Tabla 9. Presentación de los personajes del MDD	110

RESUMEN

Este documento da cuenta de un proceso investigativo que se enfocó en el diseño y desarrollo de un material didáctico digital (MDD) que pretende promover el reconocimiento y la integración de los niveles de representación de la química para orientar la enseñanza y aprendizaje del eje temático de reacciones químicas, aprovechando las posibilidades de la representación multimedial que ofrecen las TIC. Este proceso se desarrolló a través de una metodología de tipo cualitativo descriptivo, enfocada en la línea de estudios de diseño. En el diseño de MDD se tomaron decisiones fundamentadas en pro de mejorar los aspectos pedagógicos y didácticos de este tipo de medios didácticos, entre las que se destacan el uso de la narrativa y las metáforas educativas, además de la organización de los contenidos escolares en ideas y sub-ideas.

Como resultado se obtuvo el diseño de un MDD y su materialización en un prototipo medianamente interactivo, que aprovecha los aportes de las narrativas y las metáforas educativas, para que los estudiantes lleguen a concebir la química como un conocimiento de interés y pertinencia personal y social a través del reconocimiento de los tres niveles de representación de la química y las relaciones existentes entre ellos.

El proceso desarrollado y sus resultados permiten concluir que los estudios de diseño le permiten al docente diseñador ampliar y fortalecer su sistema de conocimientos para la enseñanza y en casos como este que se enfocan en el desarrollo de MDD conllevan a que el docente tome decisiones fundamentadas para lograr una integración efectiva de las TIC en sus procesos de enseñanza, ayudándolo así a construir nuevas relaciones entre sus conocimientos disciplinar, pedagógico y tecnológico, lo que es denominado por autores como el Conocimiento Tecnológico, Pedagógico del Contenido (TPACK).

Palabras claves: Material didáctico digital (MDD), niveles de representación de la química, reacciones químicas, narrativas y metáforas educativas.

INTRODUCCIÓN

El presente documento consiste en el resultado de un proceso investigativo que se centró en el diseño de un material de enseñanza sobre las reacciones químicas con el propósito de que los estudiantes y docentes que lo usen puedan reconocer y articular de forma explícita los tres niveles de representación de la materia propuestos por Johnstone (1982). Para facilitar el logro de dicho propósito en el diseño y desarrollo de este material se tuvieron en cuenta e incorporaron varias herramientas o estrategias como las representaciones multimediales, la narrativa, las metáforas educativas y la organización de los contenidos en ideas y sub-ideas.

Este documento está organizado en siete capítulos, los cuales se realizan para determinar la existencia de un problema de investigación y posteriormente darle respuesta. El primer capítulo consiste en la presentación de un conjunto de investigaciones a manera de antecedentes que nos permiten dar cuenta de la existencia de un problema generalizado en la enseñanza de la química, este se organiza internamente en tres bloques que a saber son: las dificultades relacionadas con la enseñanza y aprendizaje de los niveles de representación de la química, las alternativas relacionadas con la correcta interpretación de los niveles de representación de la química y la utilización de las TIC para favorecer las múltiples representaciones en la enseñanza de la química. El segundo capítulo se centra en realizar el planteamiento de la situación problema y la pregunta de investigación que orienta este proceso de investigación. El tercer capítulo radica en la justificación del problema presentado previamente y en la cual se destaca su importancia de que se logre que los maestros tengan recursos que les permitan contribuir a que los estudiantes hagan consciente las interrelaciones entre estos niveles de representación de la materia en las explicaciones de los fenómenos y conceptos de la química.

El cuarto capítulo, consiste en el marco teórico que fundamenta el proceso investigativo el cual se estructura en dos grandes bloques teóricos que son: el conocimiento químico y los niveles de representación de la química y los recursos educativos digitales junto con los materiales didácticos digitales. El quinto capítulo es en el cual se plantean los objetivos del proceso de investigación.

El sexto capítulo, aborda los aspectos metodológicos que se tuvieron en cuenta para darle respuesta al problema de investigación formulado, en este caso se destaca que trató de un proceso con un enfoque metodológico de tipo cualitativo descriptivo centrado en diseñar un Material Didáctico Digital (en adelante MDD) que permita reconocer e integrar los niveles de representación de la química en el eje temático de las reacciones químicas. El proceso metodológico llevado a cabo para realizar el diseño de un Material Didáctico Digital se hizo desde la línea de estudios de diseño, considerando tres fases: La primera fue la fase de diseño pedagógico del MDD. Para determinar los principales elementos pedagógicos que fundamentan el diseño del MDD. La segunda fase fue la de diseño técnico del MDD, en la cual se da cuenta del tipo y características técnicas del material didáctico digital que se espera diseñar, de la organización técnica, la descripción de la interfaz comunicativa para materializar la estrategia de la metáfora educativa detallando los escenarios, menús y demás elementos, además de la descripción de la historia “storytelling” o narrativa que da sentido y significado al uso pedagógico del MDD presentando los personajes, sus personalidades y sus respectivos roles en ella. Además de los aspectos generales de la navegabilidad que se propone en el MDD. La tercera fase es la de materialización del prototipo en formato digital, en ella se detallan los motivos de la realización de un prototipo, el proceso de desarrollo y los aspectos técnicos del programa en que se materializó.

En el séptimo capítulo encontramos las conclusiones donde se destaca que como resultado de este proceso de investigación se obtuvo el diseño de un material didáctico digital que promueve el reconocimiento de los tres niveles de representación y se establecen relaciones entre ellos, asimismo se obtuvo su parcial materialización en un prototipo que ilustra en forma general los principios de diseños implementados.

Finalmente, con base al proceso desarrollado y sus resultados se puede concluir que los niveles de representación de la química son un importante eje estructurante y articulador del proceso de enseñanza y aprendizaje de la química, además que para abordar su enseñanza y aprendizaje es fundamental el contar con MDD que estén basados en representaciones multimediales contextualizadas e integradoras y en los cuales se involucre al estudiante como un personaje que puede tomar decisiones, lo cual es estimulante y promueve el compromiso por aprender.

En ese sentido, se destaca que dichos MDD cuenten con los aportes de las narrativas y las metáforas educativas; estos aportes pedagógicos y disciplinares requieren ser materializados por el docente a través del uso de programas informáticos, lo cual le exige tener un nivel intermedio de conocimiento tecnológico. Todo lo anterior permite justificar la participación de los docentes en el diseño y desarrollo de MDD debido a que son ellos los profesionales que cuentan con la formación necesaria para afrontar este tipo de retos que además les permiten fortalecer su sistema de conocimientos para potencializar la enseñanza de las ciencias a través de la incorporación de las TIC.

1. ANTECEDENTES

A continuación, se presenta el presente capítulo de antecedentes de investigación, en el cual se recogen un conjunto de documentos de investigaciones previas relacionadas con la enseñanza de la química, esta actividad se considera un proceso arduo y complejo debido a que su marco teórico integra conceptos científicos caracterizados por poseer un alto nivel de abstracción y por vincular diferentes lenguajes, símbolos y niveles de representación. Ante esto, Johnstone (1991) recomienda establecer una relación dinámica entre los niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico para conseguir que los estudiantes puedan comprender o asociar los conceptos, modelos y teorías de la química, que han adquirido durante su formación académica con situaciones del mundo que los rodea. Sin embargo, intentar explicar situaciones o fenómenos de naturaleza macroscópica que ocurren en la cotidianidad a partir de constructos teóricos de naturaleza submicroscópica y simbólica, se ha convertido en una de las principales dificultades tanto para el aprendizaje de los estudiantes como para la enseñanza por parte de los docentes (Gilbert, 2009; Galagovsky, Rodríguez, Stamati & Morales, 2003).

Aunque el triángulo propuesto por Johnstone (en el que se representa el nivel macroscópico, el nivel submicroscópico y el nivel simbólico) ha adquirido relevancia en la educación en química, diversas investigaciones sugieren que aún se siguen presentando dificultades para su planeación, aplicación y comprensión en el aula de clases. Con base en esto, se considera relevante buscar información bibliográfica que dé cuenta de la especificidad de estas dificultades y de las posibles alternativas que se han planteado para facilitar su superación, específicamente en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las reacciones químicas, con el propósito de lograr una mejor comprensión de ellas. Por ello, se decidió organizar los antecedentes de acuerdo con tres temáticas centrales: dificultades relacionadas con la enseñanza y aprendizaje de los niveles de representación de la química; alternativas relacionadas con la correcta interpretación de los niveles de representación de la química y, por último, utilización de las TIC para favorecer las múltiples representaciones en la enseñanza de química.

A continuación, se describe cada una de ellas.

1.1. Dificultades relacionadas con la enseñanza y aprendizaje de los niveles de representación de la química

En relación a esta temática se ha detectado un gran número de publicaciones en las cuales se reconoce el papel esencial que representa el triángulo de Johnstone (relación entre el nivel macroscópico, el submicroscópico y el simbólico) en la educación en química; algunas de estas investigaciones son las realizadas por Talanquer (2011) y Ordenes, Arellano, Jara & Merino (2014), quienes coinciden en la idea de que las diversas adaptaciones e interpretaciones de estos tres niveles puede llevar a confusiones que dificultan su planeación y aplicación en la práctica de enseñanza y por ende, en el entendimiento de este conocimiento por parte de los estudiantes. Algunas de las posibles evidencias de estas confusiones pueden ser, por un lado, la tendencia que existe en la práctica educativa para abordar los niveles de manera inconsciente asumiendo que para los estudiantes este salto entre niveles es explícito; por otro lado, está el hecho de que la enseñanza de la química sigue centrándose en el par submicro-simbólico sin establecer un consenso con los estudiantes para cada código, símbolo o modelo a utilizar, así por ejemplo, tanto el docente como los materiales de enseñanza no especifican si se trata de un modelado de una partícula o multipartícula y su correspondiente escala (molecular, atómica o subatómica) para describir el fenómeno o concepto químico estudiado.

Por otro lado, Dumon & Mzoughi-Khadharaoni (2014) encontraron que durante el proceso de enseñanza de las reacciones químicas suele ignorarse los aspectos submicroscópicos que se conservan y los que cambian durante una transformación química, esto se desprende del hecho de que los profesores abordan las reacciones químicas en términos de cambio/ transformación, por ejemplo, *“al final del experimento observamos los cambios en los tipos de químicos”* u *“obtenemos nuevos químicos”*; luego hacen uso de modelos explicativos pertenecientes al nivel macroscópico, tal como ocurre en la afirmación *“se dice que la sustancia X reacciona con la sustancia Y para dar ...”* o *“cuando los reactivos se presentan en presencia, se produce una reacción/ hay formación de ...”*; por último, definen las reacciones químicas en términos de aparición/desaparición: *“una reacción química es una transformación en la que los químicos desaparecen y aparecen otros nuevos”*. Adicional a esto, cuando los maestros emplean las ecuaciones químicas para representar las reacciones químicas no explicitan la naturaleza macroscópica o submicroscópica de los productos que se forman. En este sentido, las acciones

del docente influyen en la comprensión e interpretación que tienen los estudiantes acerca de los niveles de representación.

En cuanto al reconocimiento de las limitaciones que poseen los estudiantes respecto a la interpretación de los niveles de representación de la química, Ordenes et al. (2014) han encontrado que los estudiantes tienden a interpretar la materia mediante las propiedades que son más cercanas a ellos y que pueden ser percibidas de forma más directa (nivel macroscópico) presentando una escasa vinculación con el nivel submicroscópico. Análogamente, Galagovsky et al. (2003) lograron determinar que, aunque los estudiantes suelen resolver las actividades de esquematización desde aspectos macroscópicos de la experiencia observada, suelen confundirse entre ambos niveles y terminan otorgándole propiedades macroscópicas a las partículas de nivel atómico o molecular (por ejemplo, pintar de amarillo las partículas que representan el azufre porque así perciben esta sustancia), además de esto, los alumnos poseen mayores dificultades para realizar representaciones de tipo esquemático que explicaciones mediante lenguaje verbal.

Lo anterior es coherente con los planteamientos de Casado & Raviolo (2005) quienes a partir de sus hallazgos sugieren que a los alumnos se les dificulta argumentar sus respuestas a través de representaciones submicroscópicas debido a que poseen falencias conceptuales que les impide distinguir entre el significado de átomo, molécula, sustancia y elemento. En cuanto al lenguaje simbólico, estos autores encontraron que un escaso porcentaje de estudiantes plantea correctamente las ecuaciones y hacen una interpretación precisa de ellas cuando deben partir de la descripción macroscópica o submicroscópica.

Todas estas dificultades mencionadas anteriormente, tienen en común el hecho de que no se hace una clara diferenciación entre los niveles de representación de la química, lo cual genera inconvenientes, tanto para los docentes como para los educandos, para generar explicaciones y para realizar esquemas mentales y gráficos que sean coherentes con los conceptos teóricos de la química y con el lenguaje simbólico propio de esta disciplina. Por ello, es común encontrar que los estudiantes difícilmente establecen una relación entre el aprendizaje escolar y su diario vivir, además, que, en el caso concreto de la temática de reacciones químicas, se les llega a complicar las actividades de esquematización y explicación haciendo uso de su conocimiento científico.

1.2. Alternativas relacionadas con la correcta interpretación de los niveles de representación de la química.

Una de las principales alternativas que se han planteado para favorecer la correcta interpretación de los niveles de representación durante la enseñanza de las reacciones químicas es establecer una permanente vinculación entre ellos. Para esto, Talanquer (2011) recomienda que en primer lugar debe hacerse un análisis crítico y profundo de lo que significa y abarca cada uno de los “componentes fundamentales”, como él los denomina, a saber: el nivel macroscópico, el nivel submicroscópico y el nivel simbólico. Si el profesor se detiene a pensar en el alcance y las características de cada uno de ellos tendrá más claridad en su aplicación, pues esto le permitirá romper con algunos esquemas rígidos que suelen asociarse a cada nivel, como, por ejemplo, asumir que el nivel simbólico sólo se trata de la cuantificación de procesos químicos. Así pues, lo que este autor sugiere es que la aproximación a cada nivel puede realizarse bien sea de modo cualitativo o cuantitativo, conceptual o algorítmico, lo cual va a depender tanto de la naturaleza de la tarea como de la particularidad del docente o del estudiante. De esta manera, el profesor tendrá la posibilidad de establecer relaciones más amplias entre cada nivel y fomentar un aprendizaje que no se centre únicamente en la adquisición de conceptos o resolución de problemas matemáticos.

Talanquer (2011) también considera que es importante abordar una química que sea más trascendental y cercana a la vida cotidiana de los estudiantes, con el propósito de que los alumnos utilicen conscientemente los conceptos científicos aprendidos en clase. Durante el proceso de enseñanza es necesario resaltar que dicho conocimiento científico no es una copia fiel de la realidad, sino que surge como una interpretación de la realidad a través de la modelización, el cual es un proceso transversal a todos los niveles de representación. De igual forma, Mahaffy (2006) destaca que durante la enseñanza se debe procurar un aprendizaje contextual de la química, enfatizando la relación entre el conocimiento, el sujeto y el mundo, es decir, teniendo en cuenta el elemento humano.

Otro aporte importante lo hacen Casado & Raviolo (2005), quienes consideran que la construcción del concepto de reacción química se haga de manera gradual y progresiva, partiendo desde el nivel macro en asociación con representaciones simbólicas y explicaciones moleculares que incluyan modelos particulados y gráficas lineales. Esta introducción paulatina

de cada nivel permitirá que los estudiantes puedan acercarse al fenómeno o situación de estudio desde su intuición y sus sentidos, reconociendo los conocimientos e ideas con las que los estudiantes llegan al aula de clases, para luego ir acercándolos a los conocimientos y explicaciones científicas.

1.3. Utilización de las TIC para favorecer las múltiples representaciones en la enseñanza de la química

Actualmente se puede evidenciar una gran diversidad de enfoques y recursos dirigidos a contribuir al mejoramiento de la enseñanza de las ciencias, sin embargo, el proceso de enseñanza-aprendizaje de la química requiere la implementación de recursos que permitan representar y facilitar la comprensión de diferentes conceptos, así como la integración de los niveles en los que se desarrolla el conocimiento químico (los cuales son básicamente el macroscópico, submicroscópico y simbólico). Sin embargo, esto no se logra tan fácilmente con una clase magistral, en la que el docente muchas veces se limita a enseñar o explicar llenando un tablero o haciendo uso exclusivo de un lenguaje oral, dejando de lado el uso de recursos didácticos que le permitan facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje de la química. Por lo tanto, la aplicación de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) se considera una pertinente estrategia y un recurso conveniente que, en gran medida, podría hacer más eficientes los procesos de enseñanza y aprendizaje de la química (Gómez, 2006).

En concordancia con lo anterior, se puede evidenciar como el uso de las TIC y sus recursos para la enseñanza de la química ayudan a contribuir al reconocimiento de los tres niveles de representación por medio de trabajos como el realizado por Velázquez-Marcano, Williamson, Ashkenazi, Tasker & Williamson (2004) en el cual se demuestra que mediante las TIC es posible crear diferentes técnicas de representación tales como animaciones y demostraciones en video las cuales ayudan a que los estudiantes puedan correlacionar de mejor manera la existencia de los tres niveles de representación, y por tanto, lograr la construcción de modelos mentales dinámicos y de conceptualizaciones más cercanas a lo planteado por la disciplina de la química.

Sin embargo, se debe reconocer que esta situación no se resuelve con la simple visualización de los recursos tecnológicos, sino que requiere una confrontación con las concepciones o ideas que el estudiante tenga del fenómeno o sistema a observar y analizar. Además, Velázquez-Marcano et al. (2004) destacan la importancia de tener en cuenta los aportes de cada recurso y complementarlo con el uso de otros que sean de naturaleza diferente, por ejemplo, en el caso de las simulaciones, estas son útiles para representar los procesos de naturaleza molecular mientras que los videos pueden ayudar a visualizar estos procesos en el nivel macroscópico. De esta manera, se ha encontrado que el uso combinado de estos recursos genera mejoras significativas para la comprensión y predicción de lo que ocurre en el fenómeno o sistema, sin embargo, aún no hay un planteamiento definitivo acerca del orden en el uso de la visualización o del tipo de recurso que logren determinar de una de manera más significativa los resultados obtenidos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los antecedentes revisados anteriormente evidencian que existen grandes dificultades en cuanto a la enseñanza y al aprendizaje de la química. Estas son de diferente naturaleza, estando entre las más importantes las siguientes: 1) las relativas a los pre saberes o conocimientos previos que los estudiantes incorporan al proceso de aprendizaje; 2) la débil formación disciplinar y pedagógica del maestro y 3) aquello que tiene relación con la naturaleza compleja y abstracta de los conocimientos que conforman esta disciplina, lo cual está relacionado con el pensamiento multinivel o los niveles de representación que se utilizan para entender y explicar los fenómenos de la “realidad”.

Una cuarta dificultad para el aprendizaje de la química es la calidad de los procesos de diseño y desarrollo de la enseñanza que realizan los docentes. En este sentido, se ha encontrado que los profesores de química, para el diseño de la enseñanza de la química, generalmente tienen en cuenta de forma parcial las tres dificultades antes mencionadas, es decir, que no logran conectar su conocimiento pedagógico y disciplinar para lograr que el estudiante comprenda y articule todo ese conocimiento abstracto propio de la química, con sus saberes previos y su cotidianidad (Candela & Viafara, 2017). Debido a esto, se suele encontrar que ya en el desarrollo de los procesos de enseñanza, los docentes realicen sus explicaciones desde el nivel submicroscópico sin que se percaten o hagan explícito cuando se trasladan de un nivel de representación a otro; incluso pueden llegar a desconocer que el pensamiento de los estudiantes se ubica generalmente en el nivel macroscópico. Esto último, ocasiona que la tarea de hacer consciente la existencia de dichos niveles y de establecer relaciones entre ellos recaiga únicamente en los estudiantes, lo cual además de ser complejo, lleva a sobrecargar su memoria de trabajo debido al salto continuo de un nivel a otro (macroscópico, submicroscópico y simbólico), entendiéndolo cada uno de manera independiente. Como consecuencia de esto, se genera una ruptura entre las ideas o información brindada por el docente y lo existente en la memoria permanente del estudiante.

Lo anterior está relacionado con el hecho de que el pensamiento del estudiante casi siempre está ubicado en el nivel macroscópico, puesto que es el nivel que puede percibir con sus sentidos, y le cuesta desplazarse a los otros dos niveles, y, en consecuencia, poder relacionarlos, ya que es algo que no ve o no asocia con la percepción que le proveen sus sentidos. De manera que, teniendo en cuenta los planteamientos de Johnstone se puede pensar que si no se logra establecer una relación dinámica entre estos niveles será difícil conseguir que los estudiantes puedan comprender o asociar los conceptos, modelos y teorías de la química que han ido trabajando durante su formación, con situaciones del mundo que los rodea (Candela & Viafara, 2017; Ordenes et al., 2014).

Cabe mencionar que en la actualidad las investigaciones en el campo de la educación en ciencias brindan una gran diversidad de enfoques y recursos dirigidos a contribuir al mejoramiento de los resultados de la enseñanza de las ciencias y específicamente de la química (Gómez, 2006) y en ese sentido, al revisar la literatura se puede vislumbrar la posibilidad que para enfrentar estas dificultades, específicamente la que está relacionada con la articulación de los niveles de representación de la química, existen alternativas como el uso de las TIC y de los recursos que ellas proveen al docente para desarrollar propuestas de enseñanza, ya que nos permiten crear y utilizar diferentes técnicas de representación las cuales ayudan a que los estudiantes puedan construir conceptualizaciones y modelos mentales dinámicos cercanos a lo planteado por la química, a partir de la adecuada articulación de los tres niveles de representación de la química (Marcano, 2004).

Siendo conscientes que las TIC por sí solas no son la solución para dichas dificultades y que el éxito para su resolución depende que el docente diseñe y desarrolle de manera fundamentada, reflexiva y consciente el proceso de enseñanza, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ***¿Cómo diseñar un material didáctico digital que permita el reconocimiento y la integración de los niveles de representación de la química?***

Este material está enfocado para la enseñanza de la química en la educación media en el contexto colombiano para promover el reconocimiento y la integración de los niveles de

representación de la química en el contexto disciplinar de las reacciones químicas, el cual es uno de los procesos más importantes que estudia la química.

3. JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales objetos de estudio de la química se refiere a los procesos de transformación de la materia, entre ellos, los cambios que esta experimenta durante las reacciones químicas (Chamizo, 2005). En el campo educativo, entender y explicar estas transformaciones suele resultar complicado ya que el conocimiento químico puede ser representado en tres niveles principales: el macroscópico, submicroscópico y simbólico; pero poder establecer una interacción constante entre estos niveles se ha convertido en una verdadera dificultad para estudiantes y docentes, pues tanto los conceptos como el lenguaje utilizado suelen ser muy abstractos. Sumado a esto, en ocasiones tanto los docentes como los materiales de enseñanza no realizan las correspondientes descripciones ni establecen códigos que les permitan a los estudiantes interpretar correctamente cada una de las representaciones utilizadas, por ejemplo, las representaciones de partículas pueden adquirir un significado diferente dependiendo de la escala que se maneje (atómica, molecular o subatómica), y si no se establece un consenso claro con los estudiantes durante el proceso educativo acerca de su significado se pueden generar interpretaciones no deseadas.

Además, tal como se ha planteado anteriormente, la movilización entre cada nivel no se hace de manera consciente, esto puede deberse al hecho de que la enseñanza de las reacciones químicas muchas veces se centra solo en la definición de conceptos o en la resolución de cálculos matemáticos, sin establecer una asociación con los fenómenos que son cercanos a la cotidianidad del estudiantado.

En este sentido, es fundamental tener en cuenta que durante el aprendizaje de las reacciones químicas, los estudiantes deben desarrollar un proceso mental para construir la idea que las reacciones químicas se caracterizan en que las sustancias iniciales sufren transformaciones permanentes, en ese sentido, se da la modificación de su identidad química y el reordenamiento de sus enlaces atómicos, pero que la cantidad de materia representada en la cantidad de átomos y cargas permanece constante antes y después de dicha reacción. Es decir, que los estudiantes deben incorporar a sus esquemas de pensamiento no solo lo que pueden

percibir a través de los sentidos, sino también todo ese conocimiento conceptual que involucra la conservación, composición e interacción de la materia que resultan imperceptibles para los estudiantes (Acero, 2016).

Ante esto, autores como Corcoran, Mosher & Rogat (2009); Matus (2009) citados por Contreras & González (2014, p. 98), “*sostienen que si la integración de los niveles de representación de la química se hace de manera explícita se puede favorecer un aprendizaje gradual y progresivo*”, es decir, al tomar conceptos de carácter general como punto de partida para la enseñanza se puede facilitar la incorporación de conceptos que sean más particulares, tal y como lo recomiendan Casado y Raviolo (2005), ya que de esta manera el docente tiene la posibilidad de articular diferentes conceptos (de acuerdo a la complejidad que exige cada ciclo educativo). Con esto, se evitaría una sobrecarga de información para su comprensión, puesto que, al tener la posibilidad de acceder a unas ideas y saberes estructurados mediante cadenas de razonamiento, el estudiante podrá construir un conocimiento que sea más perdurable, aplicable y significativo (Talanquer, 2011; Candela, 2016).

Por este motivo, se propone articular, de manera explícita, los niveles de representación de la química mediante el diseño de una herramienta educativa basada en las potencialidades de las TIC, ya que, como lo plantean autores como Chao Rebolledo & Díaz Barriga (2014) y Velázquez-Marcano et al. (2004), entre otros, las tecnologías digitales representan indudablemente una gran ayuda en los procesos de enseñanza-aprendizaje gracias a sus posibilidades de multi-representación, animación e interactividad, y con ello permiten mejorar la presentación y la comprensión de ciertos tipos de información y facilitar el acceso a esta.

Teniendo en cuenta estos planteamientos, mediante esta propuesta se busca la movilización consciente entre cada nivel de representación para fortalecer las relaciones explicativas entre el nivel macro y el submicroscópico haciendo uso del lenguaje simbólico de la química. A su vez, se busca facilitar la labor docente al procurar que los conceptos relacionados con la temática *reacciones químicas*, se vinculen entre sí y sean constantemente retomados durante el proceso de enseñanza, lo cual podría resultar en un proceso educativo que guarde una coherencia curricular tanto horizontal como vertical, en el sentido que se proyecta una

aproximación gradual, respecto a la complejidad del conocimiento científico en ciencias naturales.

Además, cabe resaltar que el proceso de diseño de una propuesta educativa apoyada en las TIC aporta a la labor docente la posibilidad de fortalecer y mejorar la capacidad de representar un contenido específico y gestionar el aprendizaje a través de múltiples representaciones computacionales encaminadas hacia la comprensión de la relación que existe entre el conocimiento concreto y el conocimiento abstracto, mejorando la capacidad para interpretar la simbología química y los gráficos basados en modelos de partículas, que son utilizados durante la conceptualización y representación de las reacciones químicas.

4. MARCO TEÓRICO

En relación con el problema que orienta este proceso de investigación, se ha realizado una revisión de los principales elementos teóricos que permitirán comprender dicha problemática e intentar así, darle una concerniente respuesta. Estos referentes teóricos están ordenados en los siguientes apartados: *El conocimiento químico y los niveles de representación de la química y Los materiales digitales de enseñanza*. Cada uno de ellos se desarrolla a continuación.

4.1. El conocimiento químico y los niveles de representación de la química

La química trata de comprender y dar explicación a los fenómenos de la transformación de la materia, entre ellos, los cambios químicos que dan origen a nuevos productos. En ese proceso se producen conocimientos abstractos como conceptos, principios, leyes y teorías que son constructos que modelan y explican la realidad a través de un lenguaje propio, que en la mayoría de las ocasiones es diferente al que comúnmente utilizan las personas para comunicarse. Todo lo anterior conlleva a consolidarla como un sistema complejo y difícil de aprender en la escuela.

Este sistema complejo, según Johnstone (1982) citado por Candela y Viafara 2017, p. 48), está constituido y representado por el Triplete de la Química o los tres niveles de representación definidos como: 1) nivel macroscópico, 2) nivel submicroscópico y 3) nivel simbólico. A continuación, se inicia con la descripción del modelo que plantea Johnstone, el cual es tomado como base en este trabajo; se prosigue con la presentación de otros modelos de representación de la química que han sido propuestos por algunos autores y finalmente, se elabora una comparación entre los diferentes modelos seleccionados. El propósito de esto es realizar un análisis que permita guiar la toma de decisiones en cuanto a la posibilidad de relacionar los tres o más niveles de representaciones de la química, por lo que, además, se considera necesario explorar una propuesta de los marcos conceptuales que han sido utilizados para explicar las reacciones químicas para tomar decisiones más fundamentadas.

4.1.1. Descripción del modelo propuesto por Johnstone

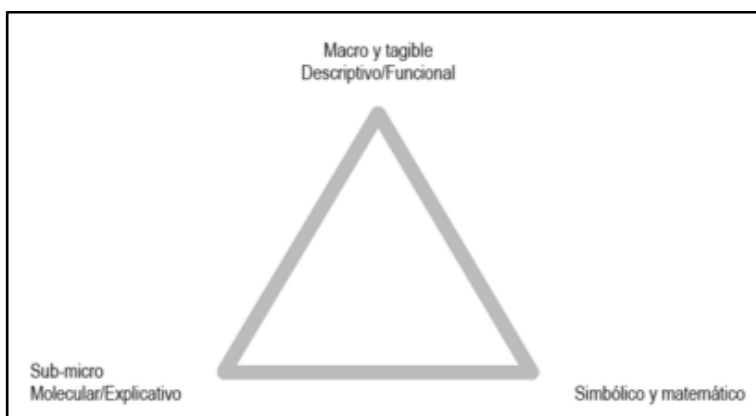
Como se mencionó anteriormente Johnstone (1982)- citado por Candela & Viafara (2017, p. 48) propuso un modelo para la educación en química conformado por tres niveles centrales, los cuales son:

Nivel de representación macroscópico (funcional/descriptivo). Desde la perspectiva de Johnstone, este nivel se caracteriza principalmente por acercarse a la observación y descripción de los fenómenos o situaciones experimentales, a través del uso de los sentidos. De este modo, este nivel podría considerarse como una forma básica o inicial de representar los fenómenos o procesos químicos. Es conveniente anotar que las representaciones que se hacen en este nivel no dan cuenta de lo que subyace al fenómeno, por lo tanto, no es posible explicar a profundidad un fenómeno determinado, ya que para poder hacerlo se necesitaría comprender y conectar con los procesos e interacciones que se dan entre las partículas a nivel submicroscópico. Por ejemplo, desde este nivel un sujeto puede describir las propiedades y características de un objeto o fenómeno, como el color, el olor, la masa, etc., mas no podría explicar a ciencia cierta porque el objeto o fenómeno tiene unas características y un comportamiento determinado ya que este no comprende ni conoce lo que subyace u origina esas propiedades (Candela & Viafara, 2017).

Nivel de representación submicroscópico (explicativo). Una vez que es observado un fenómeno químico, la química adopta un proceso científico que está encaminado a explicar las causas que hacen posible que este fenómeno ocurra. Así pues, su existencia en el mundo macroscópico es posible comprender, predecir y explicar mediante la relación entre el nivel macroscópico y un nivel submicroscópico. En ese sentido, se han construido conceptos y modelos explicativos para representar la naturaleza particulada de la materia, esa que no es perceptible mediante el uso de nuestros sentidos, incluso ni con el apoyo de los microscopios. Estos modelos han sido contruidos a partir del planteamiento de entidades teóricas conceptuales como átomos, iones, moléculas, radicales libres y enlaces. En pocas palabras, el nivel submicroscópico corresponde a representaciones abstractas que surgen de la mente de los expertos en química y se fundamentan en esquemas de partículas (Candela & Viafara, 2017; Galagovsky et al., 2003).

Nivel de representación simbólico (representativo). En el estudio de la química se requiere de un sistema de símbolos y códigos que permitan comunicar las características y cantidades de las entidades químicas inmersas en los fenómenos y procesos químicos, es por eso por lo que se utiliza el nivel de representación simbólico como un lenguaje común entre la comunidad científica y académica que trasciende idiomas y fronteras. En este nivel cada símbolo tiene un significado y en conjunto son capaces de comunicar o representar información de la materia y su comportamiento. Por ejemplo, el elemento químico se representa por un símbolo químico, el número de átomos del mismo elemento presentes en una molécula se representa por medio de subíndices, el estado en que están las sustancias químicas se representa a través de letras que indican si está en estado sólido (s), líquido (l), gaseoso (g). De igual manera, cuando se precisa cualificar y cuantificar lo que ocurre en una reacción química, puede expresarse y simplificarse por medio de una ecuación química, además que permite recrear y explicar dicho proceso químico al combinar no solo símbolos químicos sino también matemáticos. Así, por ejemplo, mediante una ecuación química se facilitan los cálculos estequiométricos y se representa la ley de la conservación de la materia (Candela & Viafara, 2017).

Figura 1. Niveles de representación de la química según Johnstone (1982).



Nota: Tomado de *Aprendiendo a enseñar química* (p.49), por B. F. Candela & R. Viafara, 2017, Programa Editorial UNIVALLE.

De manera que, para Johnstone el conocimiento químico estaría representado por un triángulo (véase Figura 1) en el que cada uno de sus vértices corresponde a un nivel con unas características específicas. En el ámbito educativo, su implementación tiene como propósito

principal promover un aprendizaje de carácter progresivo y significativo pues al diferenciar de manera consciente cada nivel, se estaría evitando la sobrecarga de información y la confusión de los estudiantes. Pero para lograr esto, tanto los estudiantes como los profesores deben tener claro no solo lo que implica cada nivel, sino que además deben poder trasladarse cómodamente entre cada uno de ellos estableciendo relaciones simultáneas entre sí.

4.1.2. Modelos alternos a la propuesta de Johnstone

Diferentes investigaciones han permitido concluir que se presentan múltiples dificultades en la enseñanza y aprendizaje del modelo comúnmente denominado Triplete de la Química. Con base en esto, varios autores se han interesado en profundizar en este modelo y algunos de ellos han visto la necesidad de reinterpretarlo y modificarlo. Un ejemplo de ello son Galagovsky et al. (2003), quienes coinciden con Johnstone al considerar que el nivel macroscópico concierne a las representaciones que se adquieren a través de los sentidos y a las descripciones que el sujeto puede realizar a partir de ello, pero discrepan de Johnstone en cuanto a que consideran que el nivel submicroscópico forma parte del nivel simbólico puesto que los esquemas de partículas (nivel submicroscópico según Johnstone) corresponden en realidad a un lenguaje gráfico en el que se utilizan códigos específicos que sirven para realizar explicaciones e interpretaciones.

Así que, estas autoras sugieren un modelo constituido por sólo dos niveles de representación, el macroscópico y el simbólico. Por otra parte, las autoras han encontrado en sus investigaciones que, por lo general, los estudiantes aceptan el modelo particulado de la materia, no obstante, en sus acciones de esquematización tienden a otorgarle características observables (propias del nivel macroscópico) a las partículas submicroscópicas no observables, a lo cual, las autoras han denominado “nivel de representación semi-particulado” ubicándose entre el nivel macroscópico y simbólico. Dichas autoras, consideran que este nivel es de naturaleza errónea, ya que surge de las dificultades que presentan los estudiantes para asimilar lo que incluye cada vértice del triángulo de Johnstone.

En resumen, Galagovsky et al. (2003) consideran que durante la enseñanza de la química se articulan constantemente interpretaciones de nivel macroscópico y de nivel simbólico que son

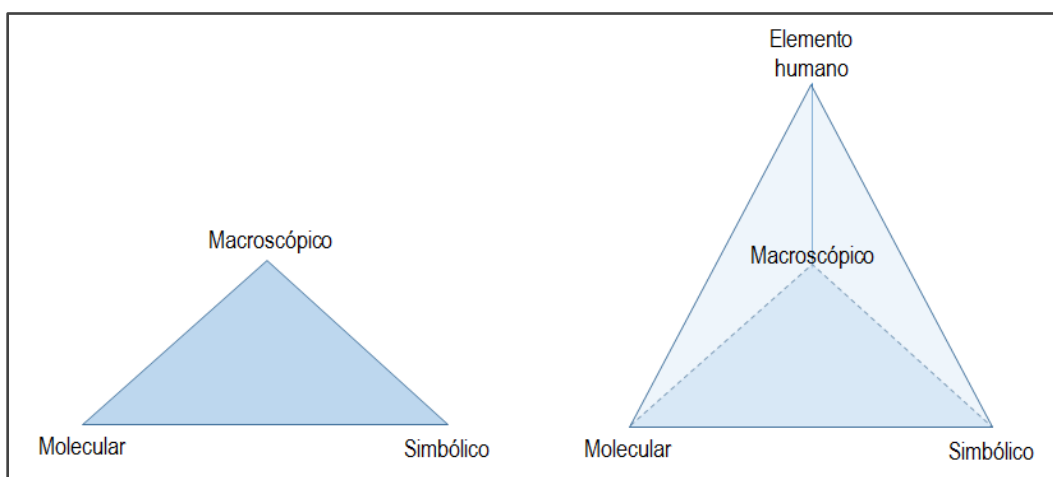
expresadas mediante diferentes tipos de lenguaje, entre ellos el lenguaje gráfico y el lenguaje formal, ambos caracterizados por utilizar códigos y convenciones específicos. Por consiguiente, dichas autoras recomiendan que al enseñar conceptos de química es importante que el docente enfatice en tareas de esquematización haciendo uso de los diversos tipos de lenguajes simbólicos y estableciendo un consenso con sus estudiantes en cuanto a los correspondientes códigos utilizados, esto con el propósito de hacer frente al nivel intermedio en el que pueden encontrarse los alumnos (nivel semi particulado).

Por otro lado, a pesar de estar de acuerdo con el triplete químico (nivel macro, submicro y simbólico) de Johnstone (1982); Russell, Kozma, Jones, Wykoff, Marx & Davis (1997), citados por Casado & Raviolo (2005, p.36), sugieren que además de estos tres niveles, también se debería tener en cuenta un nuevo nivel de representación, denominado nivel gráfico. Dentro de este se encuentran diferentes clases de gráficos o diagramas de tipo cuantitativo, pero se hace referencia especialmente a los gráficos XY, que permiten y facilitan la observación del comportamiento de algunas propiedades perceptibles o macroscópicas respecto al tiempo, como por ejemplo la variación de las concentraciones. Al hacer un análisis de esta propuesta, se estima que la importancia de hacer explícito cada nivel y la manera en que se relacionan entre sí para evitar generar confusiones que se reflejen en una inadecuada conceptualización de las ideas de la química.

Ahora bien, haciendo referencia a otra postura, Mahaffy (2006) inicialmente resalta la trascendencia que el triplete químico de Johnstone ha tenido en la educación en química, pues ha servido para que tanto los docentes de química como los desarrolladores de currículos empiecen a tener en cuenta los tres niveles de representación de la química evitando centrar su atención en un único nivel; esto ha sido reforzado gracias al uso de la metáfora del triángulo plano, la cual se ha convertido en un recordatorio de la importancia de mantener una relación de equilibrio entre los tres niveles y ha permitido enriquecer los ambientes de aprendizaje que se les ofrece a los estudiantes. No obstante, Mahaffy (2006) cuestiona si la metáfora triangular plana es suficiente para generar los cambios educativos necesarios en los que sea posible articular el conocimiento disciplinar de la química con las experiencias y conocimientos que poseen los estudiantes. Ante esto, el autor propone incorporar un nuevo nivel que haga parte del triángulo de Johnstone de

forma que, la metáfora del triángulo plano pase a convertirse en un tetraedro (3D); este nuevo nivel representa el componente humano y se incorpora al triángulo de Johnstone como un cuarto vértice (véase Figura 2).

Figura 2. Comparación entre el modelo del triángulo plano de Johnstone (1991) y el modelo del tetraedro de Mahaffy (2006) que incluye el elemento humano.

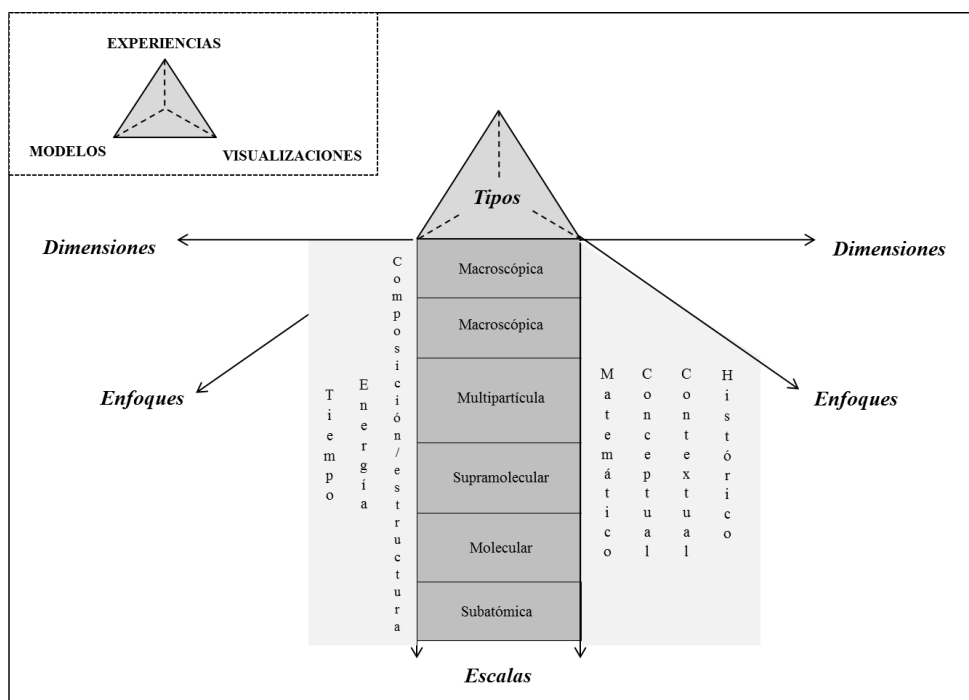


Nota: La imagen representa una comparación entre el modelo de Johnstone (1991) y el modelo de Mahaffy (2006), en el que al adicionar el elemento humano la metáfora de triángulo plano se transforma en un tetraedro. Adaptado de “Moving chemistry education into 3D: A tetrahedral metaphor for understanding chemistry” (p. 51), por P. Mahaffy, 2006, *Education. Journal of Chemical Education*, 83(1), 49.

En pocas palabras, Mahaffy (2006) sostiene que es necesario conectar la química con la sociedad, es decir, contextualizar los conceptos, las representaciones simbólicas, las sustancias y los procesos químicos no solo en un escenario científico sino también en escenarios que involucren la cultura y cotidianidad de los estudiantes, ya que de esta manera se favorece la imaginación y la motivación para comprender integralmente las dimensiones macro, submicro y simbólicas de la química. Asimismo, al tener en cuenta el elemento humano se puede promover un aprendizaje caracterizado por ser significativo, comprendido y compartido.

Por su parte, Talanquer (2011) hace una reinterpretación del triángulo de Johnstone en la medida que intenta superar las barreras que muchas veces representa el poder definir los límites de cada nivel, además, toma en cuenta los planteamientos de Mahaffy acerca de abordar la química de manera contextualizada. Para precisar, Talanquer (2011) propone abordar las múltiples dimensiones del conocimiento químico en términos de tipos de conocimiento (experiencias, modelos y visualizaciones), escalas (macroscópica, mesoscópica, multipartícula, supramolecular, molecular y subatómica), dimensiones (composición/estructura, energía y tiempo) y enfoques (conceptual, contextual, matemático, histórico), pues así se facilita la diferenciación entre cada elemento del modelo y le ofrece al docente la posibilidad de abordar el conocimiento químico de una manera más detallada. En la siguiente figura se esquematiza la propuesta del autor.

Figura 3. Tipos de conocimientos (Experiencias, modelos y visualizaciones) y las respectivas escalas, dimensiones y enfoques que Talanquer propone para abordar cada uno de ellos.



Nota: Adaptado de "Macro, submicro, and symbolic: the many faces of the chemistry triplet" (p. 186), por V. Talanquer, 2011, *International Journal of Science Education*, 33(2).

En cuanto a los tipos, Talanquer (2011) establece tres componentes principales de modo similar a como lo propone Johnstone (1982), pero Talanquer los clasifica como:

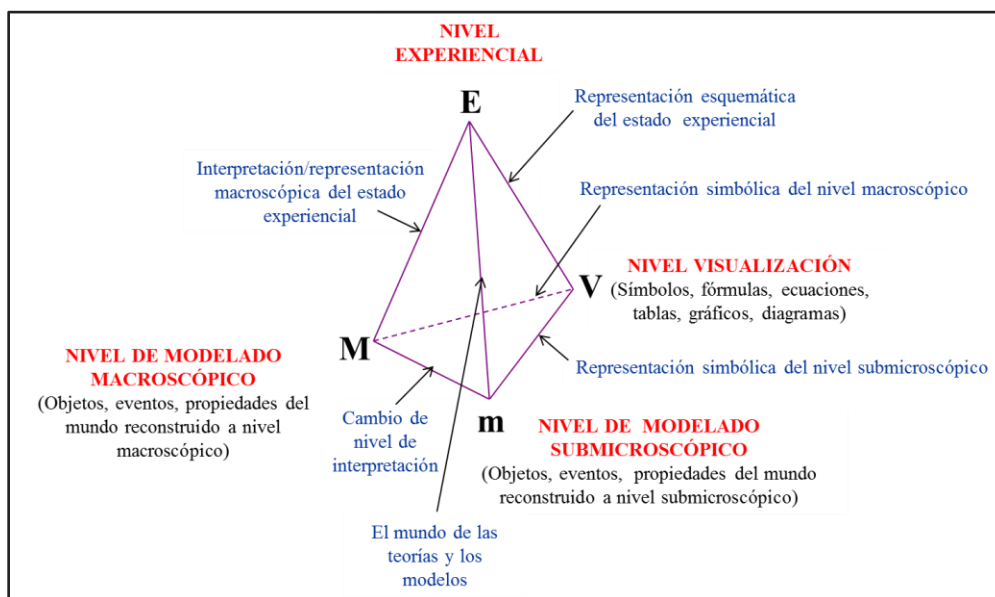
1) Experiencias, con lo cual hace referencia al conocimiento empírico real de las sustancias y procesos químicos que se adquiere a través de los sentidos, bien sea de manera directa o con el apoyo de algún tipo de instrumento; 2) Modelos, que abarcan entidades teóricas descriptivas, explicativas y predictivas utilizadas para describir los sistemas químicos y, 3) Visualizaciones, que incluye los signos visuales estáticos y dinámicos que han sido desarrollados para abordar el pensamiento cualitativo y cuantitativo y la comunicación de los procesos y modelos en química.

De modo que, la propuesta de Talanquer (2011) consiste en separar el mundo del conocimiento empírico (vértice experiencial) del mundo representacional (incluye el vértice de los modelos y el vértice de las visualizaciones simbólicas e icónicas). El fundamento principal de esta clasificación es incluir las descripciones intuitivas que pueden realizar los estudiantes en el proceso educativo y reconocer que durante la construcción del conocimiento químico los expertos recurren al uso de modelos de carácter teórico y gráfico para poder comprender y comunicar los procesos químicos. Adicionalmente, dicho autor considera que debido a que en el modelo de Johnstone se separa el mundo macroscópico del mundo submicroscópico, durante la enseñanza se puede caer en el error de confundir a los estudiantes al momento de explicar conceptos científicos que se suponen estarían dentro del mundo macroscópico (por ejemplo, sustancia) pero que poseen un alto grado de abstracción.

Dicho esto, Talanquer (2011) sugiere que estos tres tipos de conocimiento (experiencias, modelos y visualizaciones) pueden ser conceptualizadas en diferentes escalas (que van desde lo microscópico hasta lo subatómico en términos de una partícula o múltiples partículas), en distintas dimensiones (composición/estructura, energía y tiempo) y pueden ser abordadas desde diferentes enfoques (matemático, conceptual, contextual, histórico, filosófico, tecnológico). De esta propuesta pueden surgir variadas combinaciones que buscan romper con las relaciones rígidas que parece que se han formado, como suele ser la asociación entre el nivel simbólico y un enfoque meramente matemático.

Por su parte, Dumon & Mzoughi-Khadhraoui (2014) también proponen una metáfora tetraédrica para referirse a los niveles de representación del conocimiento de la química. Los autores definen cuatro niveles principales, sin embargo, ellos consideran que se deben tener en cuenta tanto los vértices como cada una de sus aristas (véase figura 4). El primer nivel se denomina Nivel Experiencial (vértice E), que corresponde al fenómeno químico observado, incluyendo el diseño experimental implementado para lograrlo. El segundo nivel lo llama Nivel de Modelado, por medio del cual se interpreta el fenómeno químico observado, este nivel se divide en el modelado macroscópico (vértice M) que incluye conceptos tales como sustancia, especie química, elemento o compuesto, reacción/cambio químico, reactivos y productos, masa molar, etc., y modelado submicroscópico (vértice m) en el que se abordan modelos teóricos como átomo, molécula, ion, masas atómicas y moleculares, entre otros. El tercer nivel es llamado Visualizaciones (vértice V), que corresponde a los símbolos, fórmulas, ecuaciones, tablas, diagramas, gráficas. Finalmente, el cuarto nivel consiste en el lenguaje que inicialmente se caracteriza por ser común pero posteriormente se convierte en un lenguaje formal a medida que se van incorporando conceptos del nivel de modelado macroscópico (lado EM).

Figura 4. Triplete de la química expandido que representa la conexión entre el nivel experiencial y el mundo de las teorías y modelos en la química, propuesto por Dumon & Mzoughi-Khadhraoui (2014).



Nota: La imagen hace alusión al Triplete de la química expandido propuesto para representar esquemáticamente la conexión entre el nivel experiencial y el mundo de las teorías y modelos en la química. En esta figura tetraédrica se tienen en cuenta tanto los vértices (niveles) como sus seis aristas (relaciones entre cada nivel). Tomado y traducido de “Teaching chemical change modeling to Tunisian students: an “expanded chemistry triplet” for analyzing teachers discourse” (p.75), por A. Dumon & I. Mzoughi-Khadhraoui, 2014, *Chemistry Education Research and Practice*, 15(1).

4.1.3. Comparación de los diferentes modelos que han sido propuestos para abordar los niveles de representación de la química

Tabla 1. Comparación de diferentes modelos referentes a los niveles de representación de la química en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la química.

Autor(es)	Nivel Macroscópico	Nivel Submicroscópico	Nivel Simbólico	Niveles de representación adicionales
Johnstone (1982, 1991)	Se caracteriza por la observación y descripción de los fenómenos o situaciones experimentales a través de los sentidos. Por ejemplo, la percepción de propiedades como el color, el olor, la masa.	Permite plantear explicaciones a las causas y comportamientos de los fenómenos u objetos de estudio, basados en conceptos, modelos explicativos y entidades teóricas (átomos, moléculas, etc.) que representan la naturaleza particulada de la materia.	Engloba a los símbolos, ecuaciones y operaciones matemáticas. Mediante los símbolos se comunican propiedades, características, cantidades y transformaciones de la materia	Ninguno
Galagovsky, Rodríguez, Stamati & Morales (2003)	Plantea lo mismo que Johnstone (registro de datos a través de los sentidos).	Nivel simbólico: Dentro de este nivel se interpretan explicaciones por medio de esquemas de partículas, expresadas mediante un lenguaje gráfico que utiliza códigos específicos. Cabe resaltar que para Galagovsky et al., el nivel submicroscópico hace parte del nivel simbólico.		Nivel de representación semi particulado (de naturaleza errónea): Durante el aprendizaje de la química los estudiantes tienden a otorgar rasgos perceptibles (macroscópicos) a entidades no perceptibles (átomos, moléculas, etc.). Las autoras ubican este nivel representacional entre los niveles

				macroscópico y submicroscópico.
<i>Russell, Kozma, Jones, Wykoff, Marx & Davis</i> (1997)	Plantea lo mismo que Johnstone	Plantea lo mismo que Johnstone	Plantea lo mismo que Johnstone	Nivel de representación gráfico: constituido por gráficos o diagramas cuantitativos, especialmente los gráficos de tipo XY, que representan el comportamiento de propiedades macroscópicas respecto al tiempo.
<i>Mahaffy</i> (2006)	Plantea lo mismo que Johnstone	Plantea lo mismo que Johnstone	Plantea lo mismo que Johnstone	Nivel elemento o contexto humano: definido como el aprendizaje contextual de la química. Se trabaja tanto el contexto científico como el contexto social y el escolar.
<i>Talanquer</i> (2011)	El nivel macroscópico es denominado Conocimiento Tipo Experiencias o mundo de las experiencias. Es un conocimiento basado en la percepción, bien sea de forma directa o indirecta.	El nivel submicroscópico es denominado Conocimiento Tipo Modelos (modelos teóricos descriptivos, explicativos y predictivos).	El nivel simbólico es denominado Conocimiento Tipo Visualizaciones. Incluye símbolos y fórmulas químicas, dibujos de partículas, ecuaciones matemáticas, gráficos, animaciones, simulaciones, modelos físicos, etc., utilizados para visualizar y representar componentes centrales del modelo teórico).	Ninguno
	Cada tipo de conocimiento puede ser conceptualizado en diferentes escalas (macroscópico, mesoscópico, multi-partícula, supramolecular, molecular, subatómico), dimensiones (composición/estructura, energía y tiempo) y enfoques (matemático, conceptual, contextual, histórico, filosófico y tecnológico).			

Dumon & Mzoughi-Khadhraoui (2014)	El nivel macroscópico es denominado Nivel Experiencial y se caracteriza por ser exclusivamente perceptivo.		El nivel simbólico se denomina Nivel de Visualizaciones. Este corresponde a los símbolos, fórmulas, ecuaciones, tablas, diagramas y gráficas.	Nivel de lenguaje, el cual va desde un lenguaje cotidiano hasta un lenguaje formal. Se espera se avance en este nivel a medida que van estableciendo relaciones más complejas entre los niveles EMV.
	Nivel de modelado: posee dos vértices			
	Vértice para el nivel de modelado macroscópico	Vértice para el nivel de modelado submicroscópico		
	Establece relaciones entre cada uno de los vértices mediante seis aristas, las cuales son: EM (interpretación/representación macroscópica de un hecho experiencial) Em (corresponde al mundo de las teorías y modelos) EV (Representación esquemática de lo ocurrido y percibido en el nivel experiencial) VM (Representación simbólica del nivel macroscópico) Vm (Representación simbólica del nivel submicroscópico) Mm (Cambio de nivel de interpretación de macroscópico a submicroscópico y viceversa)			

4.1.4. Los niveles de representación y los marcos conceptuales para explicar las reacciones químicas

Retomando las ideas de autores como Mahaffy (2006), Talanquer (2011) y Dumon (2014), el proceso de las representaciones que se lleva a cabo durante el quehacer educativo tiene un elemento diferencial a lo que se hace en la química como disciplina y tiene que ver con la intervención de un sujeto que está en la labor de construir un nuevo conocimiento pero que trae en su bagaje cultural un conjunto de experiencias, percepciones, creencias y conocimientos que operan en dicha interpretación y construcción. En ese sentido, durante este proceso educativo, las reacciones químicas podrían ser usadas por los maestros como un elemento de análisis de los fenómenos que ocurren a diario, pero además tienen un alto potencial para llegar a convertirse en un elemento de atracción para el estudiante durante la enseñanza de la química. A pesar de esto, generalmente son asociadas a prácticas de laboratorio o a entornos científicos que suelen estar alejados del contexto de los estudiantes.

Como consecuencia de esto, es difícil alcanzar un aprendizaje en el que se establezcan relaciones entre el saber científico y el conocimiento cotidiano, lo que no permite que quienes aprenden química puedan ser conscientes de lo que subyace a lo que observan y presencian en su cotidianidad, resultándoles complicado identificar y comprender a las reacciones químicas como procesos que son constantemente realizados por ellos y por personas del común y corriente, y que se desarrollan a diario en el ambiente que los rodea, ya sea de manera natural o como parte de un conjunto de procedimientos manipulativos y en ocasiones con ayuda de recursos tecnológicos.

Un buen ejemplo de esto podría desprenderse de la indagación, con base en el conocimiento científico, acerca de un hecho perceptiblemente sencillo tal y como lo es la quema de un papel y las posibles respuestas que surgirían para explicar esta situación. Para empezar, se ha encontrado que en general los estudiantes podrían tender a elaborar ideas desde su percepción inmediata, es decir que las respuestas suelen estar centradas en una descripción de lo que pueden observar o sentir, resultando en muchas ocasiones difícil poder identificar este hecho como un proceso químico donde reaccionan diferentes sustancias que depende de la dinámica de las entidades submicroscópicas que las componen.

Al respecto, Benaroch (2000) afirma que los estudiantes tienden a imaginar la materia más desde su perspectiva, es decir, en términos macroscópicos y no desde su carácter discontinuo o molecular, de manera similar, Gómez Crespo, Pozo & Gutiérrez Julián (2004) plantean que los estudiantes tratan de buscar semejanzas entre los fenómenos que observan y las explicaciones a nivel submicroscópico de los mismos, y terminan otorgando características o propiedades macroscópicas a esas entidades no visibles que participan en dichos fenómenos. Ante esto, Gómez Crespo et al. (2004) manifiestan que estas concepciones que poseen los estudiantes se deben a que para ellos resulta más fácil poder ofrecer explicaciones desde la dimensión macroscópica, la cual es más cercana y se traduce en ideas o pensamientos de carácter intuitivo.

Sumado a esto, la desarticulación de los diferentes niveles de representación y la descontextualización de los modelos científicos a través de los cuales se intenta explicar la

naturaleza y el comportamiento de la materia, podrían ser algunas de las razones por las que se les dificulte proporcionar explicaciones más profundas y complejas. Por ejemplo, en el caso de la quema del papel, lo más probable es que los estudiantes enfoquen sus observaciones y explicaciones en la transformación del papel únicamente por efectos del fuego e ignoren la participación del oxígeno como una sustancia que está presente en el aire y que participa en la reacción de combustión, ya que esta sustancia gaseosa se caracteriza por ser imperceptible a los ojos.

Esta situación hace evidente que las interpretaciones de los estudiantes sobre los hechos de la cotidianidad se centran en las representaciones macroscópicas de la materia, desconociendo y pasando por alto, en muchas ocasiones, su articulación con las representaciones submicroscópicas y simbólicas, aunque estas últimas, en el mejor de los casos, si han sido conocidas por los estudiantes, pero de una manera descontextualizada y carente de significado fuera del ambiente escolar. Adicionalmente, según lo encontrado por Casado & Raviolo (2005) es común que los estudiantes tengan dificultades para comprender y diferenciar los conceptos de átomo, elemento, molécula y sustancia, lo cual genera confusiones entre el nivel de representación macro y submicroscópico. Todo lo anterior puede traducirse en dificultades para identificar y aceptar que son átomos y moléculas los que participan en esta reacción de combustión, además que suelen presentarse muchas carencias en tareas que impliquen crear representaciones y formular explicaciones científicas de lo que ocurre cuando se quema un papel desde los diferentes niveles de la química.

Igualmente, es importante considerar que las reacciones químicas también pueden ser explicadas a partir de diferentes marcos conceptuales que varían de acuerdo con sus conceptos y características estructurantes, los cuales pueden ir de menor a mayor complejidad. Un ejemplo de esta variedad de marcos conceptuales son los que Arillo, del Pozo & Puig (2015) sugieren que deben ser tenidos en cuenta, los cuales son: el enfoque macroscópico de la materia, la teoría atómico-molecular y la teoría cuántica, los cuales se describen en la tabla 2.

Tabla 2. Marcos conceptuales, conceptos estructurantes y niveles de formulación del concepto de cambio químico

Marco Conceptual	Conceptos estructurantes	Formulación cambio químico
Enfoque macroscópico de la materia y los cambios (conceptos operacionales y leyes ponderales)	Sustancia ↓ Elemento	Un cambio químico es un proceso de transformación de unas sustancias iniciales en otra/s diferentes a las del principio, en el que se conservan los elementos y no puede volverse al estado inicial por procedimientos físicos.
Teoría atómico-molecular (discontinuidad hipotética de la materia)	Átomo ↓ Ion	Un cambio químico es un proceso de reorganización de los átomos de las sustancias iniciales por el que se forman nuevas sustancias, conservando la identidad y el número de átomos.
Teoría cuántica (discontinuidad de la materia y la energía)	Enlace químico ↓ Estructura electrónica del átomo	Un cambio químico es un proceso en el que, al interaccionar los electrones más externos de los átomos, se rompen y forman enlaces, dando lugar a sustancias diferentes de las iniciales.

Nota: Tomado de *Talleres para enseñar Química en Primaria* (p. 24), por Arillo, del Pozo & Puig, 2015, Universidad Complutense de Madrid.

Al analizar estas definiciones nos encontramos con propuestas de definiciones de las reacciones químicas que, al hacer una clara diferenciación entre los marcos teóricos, ofrecen la posibilidad de concebir las reacciones, inicialmente en términos de transformaciones (enfoque macroscópico y los cambios), para luego ser pensadas como procesos dinámicos donde los átomos se reorganizan (Teoría atómico-molecular) y, por último, asumirlos como procesos en los que resultan determinantes la estructura y la manera como se enlazan esas partículas submicroscópicas (Teoría cuántica), además de señalar que existen factores que se conservan.

Sin embargo, se considera que al intentar aplicar estos marcos conceptuales para describir y explicar toda esta dinámica de las partículas que interactúan en una reacción química, puede llegar a ser difícil de comprender por los estudiantes, y quizás para muchos maestros de educación básica, ya que aquellos procesos involucran partículas caracterizadas por poseer energía, movimiento e interacción constante con otras partículas. Adicional a esto, al tratar de representarlos se deben tener en cuenta un conjunto de signos y símbolos que muchas veces son usados sin discriminación según la escala o marco teórico abordado, lo cual conlleva a generar

muchas de las confusiones que han sido planteadas por varios autores que han sido citados con anterioridad.

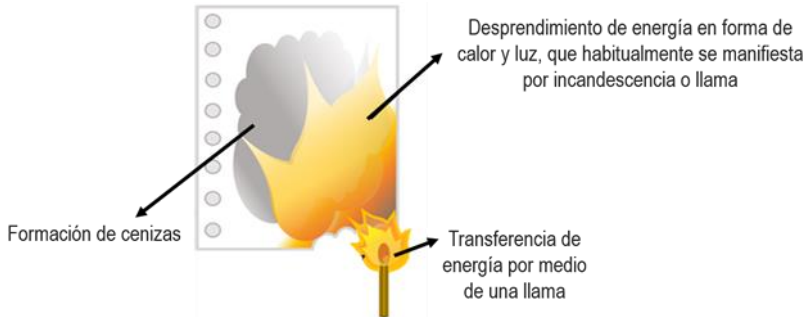
Por ende, para poder generar un conocimiento que sea más detallado, progresivo e integrador, se requiere establecer relaciones (pensadas y estructuradas de manera consciente) entre los diferentes niveles de representación del conocimiento químico. En la Tabla 4 se recogen algunos de los componentes que se consideran que deben ser tenidos en cuenta para lograr establecer relaciones coherentes entre los niveles de representación de la química. Para la elaboración de esta tabla se establecieron tres niveles de representación, tal como lo sugieren la mayoría de los autores abordados anteriormente (Tabla 1), los cuales, en este caso, son definidos como el nivel macroscópico, el nivel submicroscópico y el nivel simbólico tal y como lo propuso Johnstone (1982, 1991). Sin embargo, para abordar cada nivel se toman algunos elementos importantes que fueron resaltados por Talanquer (2011), además de los modelos teóricos sugeridos por Arillo, del Pozo & Puig (2015).

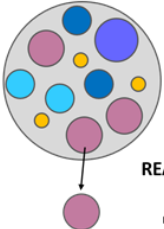
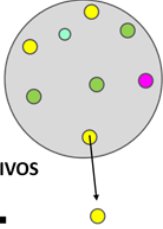
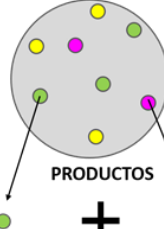
En este sentido, el nivel macroscópico es diferenciado entre un enfoque descriptivo y un enfoque explicativo, en el que el concepto de reacción química se desarrolla en términos de sustancias, mezclas, energía y cambios perceptibles a través de los sentidos. Además, con el propósito de facilitar la comprensión de la diferencia entre los conceptos mezcla y sustancia este nivel es representado a través de modelos de partículas a una escala molecular. Igualmente, se hace una asociación con la representación simbólica de cada sustancia.

En cuanto al nivel submicroscópico, según su marco teórico es diferenciado en una escala atómica y subatómica (en la que se tienen en cuenta los electrones de valencia de cada átomo). Asimismo, este nivel es asociado con su correspondiente representación de modelos de partículas (representación submicroscópica) y su representación simbólica.

En lo que respecta al nivel simbólico, se hace una clasificación de acuerdo con el enfoque cualitativo y cuantitativo, resaltando en ambos casos las particularidades correspondientes al nivel macroscópico y las correspondientes al nivel submicroscópico.

Tabla 3. Propuesta para la integración de los niveles de representación de la química teniendo en cuenta los marcos conceptuales sugeridos por Arillo, del Pozo & Puig (2015, p. 24) y los niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico.

NIVEL MACROSCÓPICO		
Marco teórico	Componentes para tener en cuenta	Ejemplo para la integración de las diferentes representaciones aplicado en el caso de la combustión de la celulosa durante la quema de un papel
Enfoque descriptivo: Las reacciones químicas son descritas en términos de objetos o materiales y propiedades perceptibles a través de los sentidos.	Realizar una descripción de lo que se puede percibir del proceso e identificar los rasgos más relevantes.	 Desprendimiento de energía en forma de calor y luz, que habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama Formación de cenizas Transferencia de energía por medio de una llama
	Explicar el proceso químico como un proceso de interacción de sustancias	

Enfoque teórico: Las reacciones químicas se definen en términos de cambio o transformación de las sustancias.	y transformación de su composición. Señalar las sustancias que reaccionan y las sustancias que se producen en este proceso. Indicar si sobre el objeto/medio en el que se manifiesta la reacción química hace parte de una mezcla de sustancias, e identificar cuál es la sustancia que participa de la reacción. Señalar si existen condiciones necesarias que medien/inicien la reacción (sustancia catalizadora, exposición al fuego, luz, etc.).	Representación de mezcla de sustancias (partículas) que componen el papel  REACTIVOS Representación de una partícula-molécula de la celulosa (sustancia combustible) $(C_6H_{10}O_5)_n$ Representación simbólica de una molécula de la celulosa Representación de mezcla de sustancias (partículas) que componen el aire atmosférico  REACTIVOS Representación de una partícula-molécula de dioxígeno (sustancia comburente) O_2 Representación simbólica de una molécula de la dioxígeno + La reacción química entre la celulosa y el dioxígeno se inicia gracias a un aporte de energía Representación de mezcla de sustancias (partículas) que se producen y hacen parte de la composición del aire  PRODUCTOS Representación de una partícula-molécula de dióxido de carbono CO_2 Representación simbólica de una molécula de dióxido de carbono + Representación de una partícula-molécula de agua H_2O Representación simbólica de una molécula de agua La reacción química entre la celulosa y el dioxígeno produce las sustancias dióxido de carbono y agua, además genera desprendimiento de energía <i>Representación mediante un modelo uni-particulado de las sustancias que reaccionan, sin tener en cuenta la relación estequiométrica</i>
--	--	--

NIVEL SUBMICROSCÓPICO		
Marco teórico	Componentes para tener en cuenta	Ejemplo para la integración de las diferentes representaciones aplicado en el caso de la combustión de la celulosa durante la quema de un papel

Teoría atómico-molecular:

Define las reacciones químicas en términos de átomos, moléculas y iones.

Explicar mediante modelos teóricos de partículas que las sustancias que se pueden percibir macroscópicamente (reactivos y productos) corresponden a sistemas de átomos unidos entre sí. Dichos sistemas pueden ser homonucleares (elementos) o heteronucleares (compuestos).

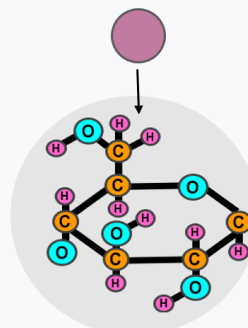
Reconocer que las sustancias que participan pueden hacer parte de otro sistema de sustancias, que, aunque pueden estar muy cerca, no reaccionan entre sí. Este sistema se llama mezcla.

Resaltar que las partículas submicroscópicas (átomos/moléculas) poseen masa, energía, movimiento que lleva a colisiones con otras partículas, además de las fuerzas de atracción y repulsión entre partículas.

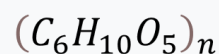
Definir las reacciones como un proceso en el que las partículas (átomos/moléculas) de unas sustancias iniciales interactúan entre sí y ocurre un rompimiento de enlaces y se forman nuevas uniones atómicas (nuevas sustancias).

Explicar que los cambios que ocurren a nivel macroscópico durante una reacción química se deben a que los átomos que participan se recombinan y forman nuevos enlaces.

Representación mediante un modelo unipartícula de una molécula de celulosa

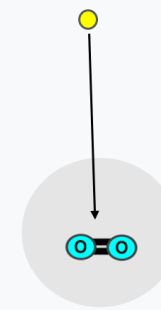


Representación mediante un modelo multipartícula de la estructura básica de una molécula de celulosa (formada por 6 átomos de carbono, 10 átomos de hidrógeno y 5 átomos de oxígeno)



Representación simbólica de una molécula de la celulosa

Representación mediante un modelo unipartícula de una molécula de dioxígeno



Representación mediante un modelo multipartícula de la estructura básica de una molécula de dioxígeno (formada por 2 átomos de oxígeno)



Representación simbólica de una molécula de la dioxígeno

+

REACTIVOS

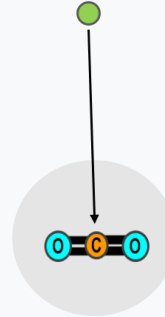
+

La reacción química entre la celulosa y el dioxígeno requiere de aporte de energía

Representación mediante un modelo multi-particulado de las moléculas que reaccionan, sin tener en cuenta la relación estequiométrica

Destacar que, durante las reacciones químicas, los átomos que forman las sustancias que reaccionan forman un sistema, por lo que el número de átomos de cada elemento, la masa y la energía se conservan al final de la reacción.

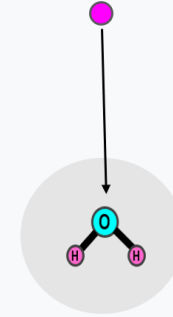
Representación mediante un modelo unipartícula de una molécula de dióxido de carbono



+

PRODUCTOS

Representación mediante un modelo unipartícula de una molécula de agua



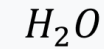
Representación mediante un modelo multipartícula de una molécula de dióxido de carbono
(formada por 1 átomo de carbono y dos átomos de oxígeno)



Representación simbólica de una molécula de dióxido de carbono

+

Representación mediante un modelo multipartícula de una molécula de agua
(formada por 2 átomos de hidrógeno y 1 átomo de oxígeno)



Representación simbólica de una molécula de agua

La reacción química entre la celulosa y el dióxígeno produce las sustancias dióxido de carbono y agua, además genera desprendimiento de energía

Representación mediante un modelo multi-particulado de las moléculas que se producen, sin tener en cuenta la relación estequiométrica

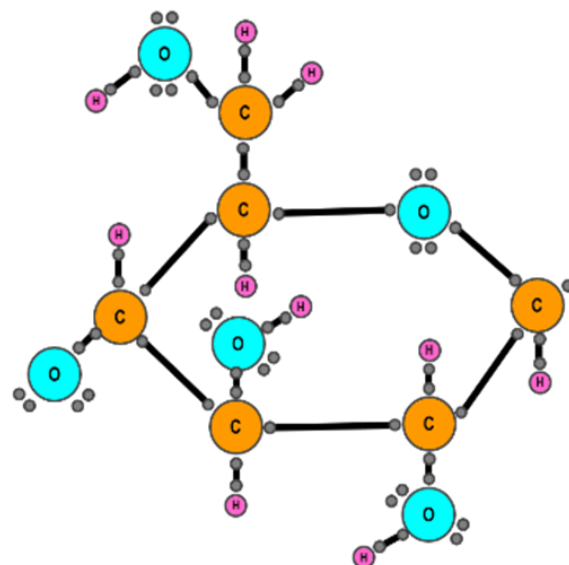
Teoría cuántica:

Define las reacciones químicas en términos de enlaces químicos y la estructura electrónica del átomo.

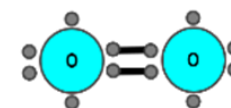
Explicar que la estructura submicroscópica de las sustancias depende de los átomos, los cuales tienden a compartir electrones para tener un estado más estable. Esos átomos están en constante movimiento y tienden a chocar entre sí. Cuando se dan las condiciones para que ocurra una reacción química los enlaces entre átomos se rompen y se da la posibilidad de que se generen nuevas uniones. Esto depende del número de electrones en la capa más externa de cada átomo.

Cada tipo de átomo tiene un cierto número de niveles energéticos en los que puede ocupar un determinado número de electrones. De acuerdo con el número de electrones que haya en el nivel energético más externo, cada tipo de átomo tenderá a unirse a otro tipo de átomo para enlazarse a él.

Representación mediante un modelo multipartícula de la estructura básica de una molécula de celulosa y los electrones de valencia de cada átomo que la componen



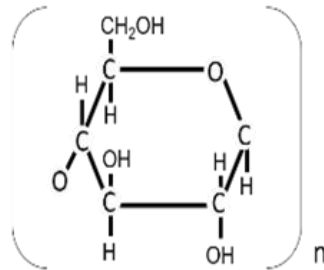
Representación mediante un modelo multipartícula de la estructura de una molécula de dióxígeno y los electrones de valencia de cada átomo que la componen



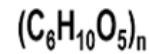
+

Este átomo de carbono comparte un electrón con el átomo de oxígeno de la otra molécula similar a esta

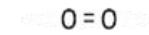
Representación mediante un modelo multi-particulado de los electrones de valencia de las moléculas que reaccionan, sin tener en cuenta la relación estequiométrica



Representación simbólica de la estructura de una molécula de celulosa (Fórmula estructural)



Representación simbólica de una molécula de celulosa



Representación simbólica de la estructura de una molécula de dioxígeno (Fórmula estructural)

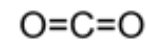
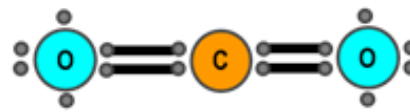


Representación simbólica de una molécula de dioxígeno

La reacción química entre la celulosa y el dioxígeno se inicia gracias a un aporte de energía

Representación simbólica de las moléculas que reaccionan, sin tener en cuenta la relación estequiométrica

Representación mediante un modelo multipartícula de la molécula de dióxido de carbono y los electrones de valencia de cada átomo que la componen

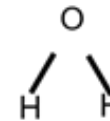
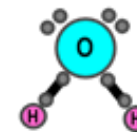


Representación simbólica de la estructura de la molécula de dióxido de carbono

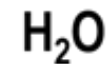


Representación simbólica de una molécula de dióxido de carbono

Representación mediante un modelo multipartícula de la molécula de agua y los electrones de valencia de cada átomo que la componen



Representación simbólica de la estructura de la molécula de agua



Representación simbólica de una molécula de agua

La reacción química entre la celulosa y el dióxígeno produce las sustancias dióxido de carbono y agua, además genera desprendimiento de energía

NIVEL SIMBÓLICO		
Marco teórico	Componentes para tener en cuenta	Ejemplo para la integración de las diferentes representaciones aplicado en el caso de la combustión de la celulosa durante la quema de un papel
Enfoque cualitativo: Define la reacción química como un sistema, en el que unas partículas reaccionan y se producen otras. Este enfoque permite identificar los tipos de átomos y moléculas que integran dicho sistema.	Resaltar que el nivel simbólico consta de ecuaciones y símbolos que proporcionan una información simplificada de la reacción química. Reconocer a través de la ecuación química las condiciones iniciales y finales de la reacción. Destacar que la ecuación química representa un gran sistema en el que se pueden identificar: A nivel macroscópico: * La identidad de los reactivos y de los productos (tipo de sustancia y estado de agregación) * Las condiciones necesarias para que ocurra la reacción A nivel submicroscópico: * El tipo de átomos que conforman la estructura de los reactivos y de los productos, es decir, cómo se agrupan los átomos antes y después de la reacción.	Símbolo químico del elemento Indica que se requiere una fuente de calor para que ocurra la reacción Coeficiente (indica número de moléculas) Subíndice (indica número de átomos de cada elemento) REACTIVOS Indica el estado de agregación PRODUCTOS Número de veces que se repite esa estructura Existen otras representaciones simbólicas, tales como la estructura de Lewis, la fórmula estructural de las moléculas y los números de oxidación, permiten de alguna forma, visualizar los electrones que participan en la reacción y los enlaces que se establecen entre los átomos.
Enfoque cuantitativo: Define la reacción química como un	Explicar que a través de los subíndices y de los coeficientes estequiométricos puede permitir obtener la siguiente información: A nivel macroscópico:	

sistema en el que unas sustancias participan y se producen otras. Permite identificar las cantidades exactas de cada sustancia a partir de la aplicación de las leyes estequiométricas	La relación cuantitativa reactivos/productos, es decir, permite establecer la relación de las masas de los reactivos con las masas de los productos mediante la unidad mol y el número de Avogadro. Esto es importante para calcular las cantidades (por ejemplo, gramos, litros) de cada sustancia en los procesos químicos. A nivel submicroscópico: *Establecer una relación de proporción para saber el número mínimo de átomos/moléculas de cada sustancia para que ocurra la reacción. A partir de eso, se establece el número de átomos/moléculas de cada sustancia que se produce. *Saber el número de átomos que conforman la estructura básica de cada sustancia.	
---	---	--

Por otro lado, en la tabla 3 se hace evidente que es necesario considerar con más detalle conceptualizaciones básicas del estudio de la materia como lo son mezcla, sustancia, elemento y compuesto, puesto que como lo han reportado varios autores, entre ellos Casado & Raviolo (2005), Furió & Domínguez-Sales (2007) y Fernández & Vargas (2011), los estudiantes suelen tener dificultades para diferenciar estos conceptos, lo cual va a tener repercusiones en la comprensión de los cambios químicos que puede llegar a experimentar la materia.

En este sentido, Fernández & Vargas (2011), sugieren que al hablar de la composición de la materia se debe enfatizar en que esta se puede presentar en forma de sustancias o mezclas, sin caer en la afirmación de que las mezclas son una categoría de clasificación. Es decir, lo recomendable es concebir que los materiales que hacen parte de los objetos y seres pueden estar formados por un tipo de sustancia o por la mezcla de varias sustancias, y que dichas sustancias consisten en partículas. Dicho de otra manera, a partir de una mezcla se pueden obtener sustancias bien sea compuestas o elementales, y de una sustancia compuesta se pueden llegar a obtener sustancias elementales. A continuación, se hace una breve descripción de estos conceptos.

Sustancias. Chang (2002, p. 9) define a las sustancias como un tipo de materia que tiene una composición definida y propiedades que la caracterizan. Las sustancias pueden diferenciarse unas a otras en su composición y pueden identificarse por su apariencia, olor, sabor y otras propiedades. Por su parte, Furió y Furió (2000) citados por Raviolo, Garritz y Sosa (2011, p. 47) definen la sustancia como un tipo de materia homogénea, ya que está formada por partículas (bien sean átomos, moléculas o iones) iguales en una proporción única. Para Fernández & Vargas (2011, p. 49), las sustancias son materiales de aspecto homogéneo que constan de un solo constituyente. Cada sustancia posee un conjunto de propiedades específicas e invariables que la distinguen de las demás sustancias. Están formadas por pequeñas partículas que pueden ser iones, moléculas o átomos. Las propiedades macroscópicas de las sustancias son consecuencia de la estructura interna y de las interacciones de sus partículas. La composición química de una sustancia señala cuáles y cuántos elementos integran sus partículas.

Las sustancias pueden diferenciarse en sustancias elementales y sustancias compuestas.

Sustancias elementales. Aquellas cuya estructura química (partículas sueltas o formando una red) consta únicamente de átomos del mismo tipo, es decir, las que están constituidas por un solo elemento (un solo tipo de átomo). Son las sustancias más simples de todas, puesto que no sufren se pueden separar en sustancias más simples por medios químicos (Chang, 2002, p. 9; Fernández & Vargas, 2011, p. 50).

Sustancias compuestas. Son aquellas formadas gracias a la interacción química de los átomos de diferentes elementos, combinados en proporciones definidas, con la característica de que pueden dar lugar a sustancias más simples mediante reacciones de descomposición química (Chang, 2002, p. 9; Fernández & Vargas, 2011, p. 50).

Mezclas. Chang (2002, p. 8) define las mezclas como la combinación de dos o más sustancias en la cual las sustancias conservan sus propiedades características. Las mezclas no tienen una composición constante, es decir que la proporción en la que está presente cada sustancia (elemental o compuesta) varía. Además, cualquier tipo de mezcla se puede formar y volver a separar en sus componentes puros por medios físicos, sin cambiar la identidad de dichos componentes (Chang, 2002, p. 8). Fernández & Vargas (2011, p. 50) definen las mezclas como un material que está constituido por dos o más sustancias. La composición química de una mezcla indica cuáles y cuántas sustancias la constituyen. Desde el nivel submicroscópico, las mezclas están formadas por las partículas de diferentes sustancias (Furió & Furió, 2000) citados por Raviolo, Garritz & Sosa (2011, p. 247). Las mezclas pueden ser de naturaleza homogénea (aquella en la que su composición es la misma en toda su disolución) o heterogénea (aquella mezcla en la que su composición no es uniforme).

En la siguiente tabla se hace una pequeña modificación a la propuesta de Arillo et. al. (2015) para diferenciar estos conceptos entre el nivel macroscópico y submicroscópico.

Tabla 4. Conceptualización de sustancias y mezclas diferenciando entre el nivel macroscópico y el submicroscópico.

Concepto		Nivel macroscópico	Nivel submicroscópico
Mezcla	Homogénea	En su composición no se pueden distinguir fácilmente cada sustancia	Varios sistemas atómicos que no interactúan químicamente
	Heterogénea	En su composición se pueden distinguir fácilmente cada sustancia	
Sustancia	Elemental	Sustancia que no se puede descomponer	Sistema atómico de átomos iguales
	Compuesta	Sustancia que se puede descomponer por medios químicos	Un sistema atómico de átomos diferentes

Nota: Adaptado de *Talleres para enseñar Química en Primaria* (p. 22), por Arillo, del Pozo & Puig, 2015, Universidad Complutense de Madrid.

4.2. Desde los recursos educativos digitales hacia los materiales didácticos digitales

Existe una amplia variabilidad en la denominación y caracterización de los recursos o materiales de naturaleza digital que han sido usados o que pueden incorporarse en los procesos educativos con intenciones pedagógicas. En este apartado se hace la presentación de esta variabilidad conceptual, mostrando las tipologías tanto de los recursos educativos digitales como las de los materiales didácticos digitales, además de las correspondientes diferencias entre ellos.

4.2.1 La variabilidad conceptual de los medios, recursos y materiales digitales educativos

Por lo general en todo proceso de enseñanza se involucran herramientas de apoyo que tienen como función u objetivo mediar entre una parte que enseña y otra que aprende. Para hacer más fácil el proceso de aprendizaje de lo que se enseña (contenidos e ideas), se requieren herramientas y recursos que en primer lugar, posean ciertas características pedagógicas fundamentales como reunir y presentar de manera didáctica los contenidos seleccionados; en segundo lugar, que la herramienta facilite las actividades de aprendizaje dirigidas al educando;

en tercer lugar, que cumpla con la función de ayudar a planificar, estructurar y desarrollar la enseñanza del docente y; por último, que la o las herramientas que se escojan sirvan de ayuda para evaluar lo que han aprendido los educandos. Los recursos o herramientas que cumplen con estas funciones y características son considerados materiales didácticos (Area, 2019).

Actualmente, es común observar que muchos de los recursos y materiales que se utilizan hoy en día en los procesos de enseñanza no son los mismos de antes, ya que han ido evolucionando a medida que la época y la tecnología cambia, pasando de materiales didácticos tradicionales (libros de texto en físico, enciclopedias, carteleras, proyectores o video beam) a materiales didácticos de carácter digital (computadores, discos, memorias y cd para almacenamiento de archivos multimedia, webs educativas, ejercicios interactivos, entornos digitales de aprendizaje, libros educativos electrónicos, simulaciones de realidad virtual, videojuegos educativos, etc.) (Area, 2019, p. 5). Vale la pena aclarar que estos recursos o materiales didácticos de carácter digital pueden ser denominados, definidos y caracterizados de diferentes maneras según distintos autores, como se muestra a continuación.

Para iniciar, García (2010) citado por Zapata (2012, p. 2), destaca que los materiales digitales se reconocen como Recursos Educativos Digitales cuando su intención de diseño es de carácter educativo, es decir, cuando han sido pensados para alcanzar un objetivo de aprendizaje y logran, a través de su diseño, responder a un conjunto de características didácticas que sean pertinentes para el proceso educativo, en el sentido que puedan cumplir funciones como ofrecer información acerca de una temática, mediar en la asimilación de un conocimiento, consolidar un aprendizaje, evaluar conocimientos, entre otras acciones educativas.

Asimismo, Zapata (2012) se refiere a los RED como aquellos materiales que para su composición se recurre a los medios digitales y su producción está destinada a facilitar el desarrollo de actividades que orienten el aprendizaje. Teniendo en cuenta esto, al hacer una comparación con los recursos educativos tradicionales, los RED presentan grandes ventajas que generan un impacto positivo en la educación, entre las que se destacan: a) la posibilidad de representar la información en diferentes formatos (multimedialidad) lo que puede potencializar la motivación del estudiante por aprender, b) la capacidad de simulación puede facilitar la

comprensión, el acercamiento y la interacción a través del proceso de representación de situaciones reales o ficticias, c) la facilidad de acceso a la información puede favorecer no solo el autoaprendizaje sino que además puede complementar los conocimientos del educando enriqueciéndolos (Zapata, 2012).

Por otro lado, autores como Martínez, Pérez, Sampedro & Martínez (2021) citados por García & Esteban (2009, p. 5) hacen referencia al término Materiales Educativos Digitales (MED) y lo definen como recursos en los que bajo un mismo soporte digital son capaces de integrar varios media con base en criterios tecnológicos y pedagógicos para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Esta variabilidad conceptual se evidencia en la diversidad de recursos educativos digitales que son ampliamente difundidos en la red y que ofrece a los usuarios un gran abanico de posibilidades. Ante esto, es pertinente conocer los criterios que ayuden a diferenciarlos y clasificarlos para poder tomar decisiones concretas. A continuación, se aborda una propuesta de clasificación de este tipo de recursos educativos.

4.2.1.1. Clasificando la diversidad de recursos educativos digitales

Actualmente existe una gran diversidad de productos o recursos educativos digitales localizadas generalmente en la web y en sitios como redes docentes, portales de empresas editoriales e instituciones, que en conjunto forman un gran ecosistema digital educativo que no para de expandirse. Estos recursos educativos digitales se pueden clasificar en varios tipos, sin embargo, no siempre es fácil identificarlos y clasificarlos, pues en muchas ocasiones pueden encasillarse en una tipología o en varias tipologías de acuerdo con su formato y a su origen (Area & Marzal, 2016), lo cual se debe a que una gran cantidad de estos recursos suelen ser un conglomerado de distintos tipos de productos educativos digitales.

A continuación, en la tabla 5 se muestra una tipología de un conjunto de recursos educativos digitales, planteados y clasificados por Area & Marzal (2016). Cabe resaltar que todos estos recursos se caracterizan por ser creados y/o usados especialmente con una intencionalidad educativa.

Tabla 5. Tipos de recursos educativos en línea según la clasificación de Area & Marzal (2016)

Tipos de recursos educativos online	Definición o Descripción
Los libros digitales educativos	Presentan contenidos o conocimientos de forma organizada y estructurada al igual que los libros en físico, la diferencia entre ambos es que los libros digitales educativos pueden ser interactivos, poseer contenido audiovisual, incluir lenguaje iconográfico y ser hipertextuales. Este tipo de recurso tiene como principal función presentar a los estudiantes los contenidos de forma atrayente, para que ellos (los educandos) los capten y entiendan de una manera más fácil. (Área y Marzal, 2016).
Los materiales educativos gamificados (serious games)	Dado que poseen características similares o relacionadas con los videojuegos brindan a los usuarios que acceden e interactúan con ellos experiencias de aprendizaje interactivas, motivadoras, abiertas y flexibles (Area, González & Mora, 2015).
Los materiales digitales autoconstruidos por el profesorado	Son recursos educativos que se pueden encontrar en línea y que han sido realizados por educadores, generalmente son una mezcla de varios objetos digitales (videos, blogs, portales web, presentaciones multimedia, ejercicios y actividades en línea, etc.), su función principal es servir como tareas de aprendizaje para que los estudiantes las desarrollen, de modo que al interactuar con estos recursos (aplicaciones, herramientas, web 2.0) puedan construir múltiples conocimientos, aprendizajes y contenidos, posibilitando que los mismos educandos sean protagonistas activos y no solo receptores, además de esto también se posibilita a los educandos poder interactuar, compartir e intercambiar información con otros usuarios. (Area & Marzal, 2016).
Plataforma o portal de contenidos digitales educativos	Este concepto no es tan sencillo de definir ya que es un recurso con una complejidad mayor a los anteriormente descritos, debido al conjunto o sistema de servicios y recursos que involucra, no obstante, se puede considerar como un espacio o sitio web que puede estar conformado por varias páginas y/o archivos articulados entre sí a manera de red, dentro de estos se pueden encontrar aplicaciones, diversos materiales educativos, tareas y actividades, además de distintas herramientas para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje. Generalmente para poder acceder a estas plataformas es necesario como primera medida registrarse antes de ingresar. Muchas veces estas plataformas cumplen la función de repositorio digital educativo, es decir, sirven como un lugar para almacenar de forma organizada información, diferentes recursos, materiales educativos, etc. (Area & Marzal, 2016).

Material didáctico digital (MDD)	Se puede definir como un conjunto de objetos digitales articulados y estructurados didácticamente, generalmente suelen encontrarse en la web y su función principal consiste en facilitar el desarrollo de experiencias de aprendizaje respecto a un tema, unidad de saber o competencia. Generalmente se caracterizan por ser materiales orientados hacia la educación formal, ya que suelen ser diseñados con el objetivo de lograr facilitar o desarrollar algún aspecto o punto del currículo. (Cepeda Romero, Gallardo Fernández & Rodríguez Rodríguez, 2017)
----------------------------------	--

Así mismo, estos recursos educativos online descritos en la Tabla 4 se caracterizan en primer lugar por permitir al usuario acceder a una vasta cantidad de información. En segundo lugar, representan la información de varias formas, ya sea mediante texto, imágenes, sonidos, videos, realidad aumentada, etc. En tercer lugar, poseen un formato de organización y manipulación de la información hipertextual. Además, facilitan que tanto ideas como productos intelectuales creados o materializados puedan ser publicados y difundidos, permitiendo la comunicación e interacción entre dos o más personas (Area & Marzal, 2016).

4.2.2 Los materiales didácticos digitales

En cuanto a la categoría de material didáctico digital (MDD), Area Moreira lo define como “los contenidos o conocimientos que debe adquirir un estudiante, empaquetados en un artefacto digital que tiene distintos formatos” (ULL audiovisual - Universidad de La Laguna, 2019, 0m22s). Así mismo, Area (2019) plantea que los MDD poseen algunas características que los identifican, por ejemplo en cuanto a su naturaleza tecnológica algunos de los rasgos que vale la pena mencionar en primer lugar es que son digitales y son de fácil acceso, ya que por lo general se encuentran en línea, lo cual permite interactuar con ellos sin importar el lugar o el momento, así mismo poseen interfaces gráficas e intuitivas, además gracias a su formato multimedia pueden incluir distintos lenguajes (textuales, icónicos, audiovisuales, gráficos, etc.) y distintos tipos de recursos (videos, animaciones, imágenes, audios, texto, simuladores, etc.), también pueden ser interactivos al reaccionar de acuerdo al comportamiento y al proceder del aprendiz y se consideran inteligentes cuando son capaces de registrar y almacenar datos

provenientes de los usuarios y en consecuencia generan automáticamente respuestas personalizadas.

En cuanto a la naturaleza pedagógica de los MDD algunos de los rasgos destacables según Area (2019) son los siguientes: generan motivación, facilitan el aprendizaje y la construcción de conocimientos gracias a los ambientes o entornos virtuales que suelen presentar y a los aprendizajes dinámicos y lúdicos que involucran, por otro lado gracias a las muchas fuentes de información interconectadas que contienen le evitan al aprendiz tener que ir a buscar la información por su propia cuenta, además de esto algunos posibilitan que los usuarios se comuniquen entre ellos contribuyendo a que trabajen de forma colaborativa por medio de la red, también pueden ser adaptables y personalizables, además de otras características.

Por último, cabe resaltar que de todos los conceptos y definiciones mencionados anteriormente y teniendo en cuenta las características deseadas para el diseño del material que es objeto principal de este proceso de investigación se ha seleccionado o acogido el concepto de material didáctico digital (MDD) que plantea Area (2019) para referirnos al material que se desea diseñar en este trabajo.

4.2.3. Elementos para tener en cuenta en el diseño de materiales didácticos digitales

Area (2019, p. 8-9), propone algunos ejes o principios que se deben tener en cuenta en el diseño de los MDD, entre los que destacan: a) Debe ofrecer un “storytelling” o narrativa que dé sentido y significado pedagógico, en otras palabras, se recomienda crear una historia o relato que capte la atención de los educandos y que permita conectar de manera coherente cada una de las unidades o partes del MDD. b) Plantear retos y desafíos al alumnado que impliquen la activación de procesos intelectuales. c) El MDD además de enfocarse en trabajar y desarrollar la parte cognitiva del aprendizaje también debe “emocionar” al educando. d) El MDD debe ser interactivo. e) El MDD debe representar los contenidos mediante diferentes recursos multimedia. f) Debe proporcionar un entorno comunicativo, permitiendo la conexión e interacción entre todos los miembros que participan en una clase, cumpliendo una función similar a la de una red social. g) El MDD debe proporcionar un escritorio de gestión personalizado tanto al docente como a cada uno de los estudiantes. De estos se tendrán en cuenta los cinco primeros, mientras que los dos restantes (entorno comunicativo y personalización), no se tendrán en cuenta en este diseño

debido a la exigencia técnica y económica que ellos imponen al diseño de un MDD con estas características.

Por otro lado, teniendo en cuenta que el MDD que se pretende diseñar está enfocado en la enseñanza de un principio epistemológico de los conceptos químicos (los tres niveles de representación de la química) cuya naturaleza es abstracta y compleja, se requiere incluir en el diseño del MDD variadas representaciones (tales como diagramas, ecuaciones, tablas, texto, gráficos, animaciones, sonido, video, etc.) para presentar la información de manera que se establezcan, conscientemente, relaciones entre el nivel macroscópico, submicroscópico y simbólico de la química. Desde la perspectiva de Ainsworth (2006), la idea de entremezclar varios tipos de representaciones de tipo multimedia resulta favorecedor para el proceso de enseñanza y aprendizaje de la química, puesto que, la información presentada no se enfoca en imágenes y texto por sí mismas, sino que ayuda a la comprensión por parte de los estudiantes de todo ese lenguaje icónico (representativo) y simbólico (descriptivo) característico de la química.

En coherencia con lo anterior, y teniendo como idea central que al incluir los niveles de representación macroscópico, submicroscópico y simbólico en la enseñanza consciente de la química puede influir positivamente en la manera en que los estudiantes traducen todo ese conjunto de teorías y modelos científicos que ayudan a explicar la realidad, se determina que el proceso de diseño del MDD sea orientado por la propuesta desarrollada por Ainsworth (2006), quien sugiere que en el diseño de materiales educativos computacionales (MDD en este caso) que combinen múltiples representaciones, se deben tener en cuenta los siguientes factores de diseño: a) el número de representaciones empleadas; (b) la forma en que se distribuye la información sobre las representaciones; (c) la forma del sistema representacional; (d) la secuencia de representaciones; y (e) soporte para la traducción entre representaciones. La siguiente tabla recoge las descripciones de cada uno de estos factores.

Tabla 6. Factores de diseño para materiales educativos multi-representacionales según Ainsworth (2006)

Factor de diseño	Descripción
------------------	-------------

Número de representaciones empleadas	La utilización de varias representaciones puede favorecer el proceso de enseñanza y aprendizaje, ya que al utilizar varios tipos de representaciones se puede abordar la información de manera complementaria al retomar la información constantemente en diferentes formatos.
Forma en que se distribuye la información	La utilización de múltiples representaciones permite el ajuste de la información según su naturaleza y complejidad, así como las características de los estudiantes y la intencionalidad de la actividad, pues brinda la posibilidad de representar de diversas maneras un mismo concepto.
Forma del sistema representacional	Incluir diferentes tipos de representaciones en los materiales de enseñanza ofrece la oportunidad de elegir las representaciones que mejor se adapten a los diversos estilos de aprendizaje de los estudiantes.
Secuencia de las representaciones	Al incorporar múltiples representaciones permiten ir aumentando progresivamente el grado de abstracción de los conceptos o ideas que se desean enseñar.
Soporte para la traducción entre representaciones	Los materiales educativos multi-representacionales pueden apoyar la comprensión de una primera representación cuando hace evidente su correspondencia con una segunda representación. Es decir, puede ayudar a mejorar las habilidades de los estudiantes para reconciliar representaciones que difieren en formato.

Adicional a lo que se ha abordado con anterioridad, se considera que este enfoque multi-representacional digital y de la química está asociado con la capacidad para procesar, recuperar y almacenar información de manera paulatina mediante la articulación de la memoria de trabajo (memoria a corto plazo) y la memoria permanente (memoria a largo plazo) (Candela, 2016; Amestoy de Sánchez, 2002). En ese sentido, se tendrá en cuenta como estrategia para articular cada uno de los procesos que se desarrollarán en el MDD, la propuesta de una metáfora educativa (del Moral, Rodríguez, Castro & Lovelle, 2001) que le dé al usuario o aprendiz un entorno comunicativo que simule un contexto o situación que sea conocida y agradable para él, además, que lo estimule para construir sus representaciones y nuevos conocimientos a partir de experiencias y conocimientos previos que se activan en dicho entorno, lo cual se considera un puente entre las propuestas dadas por Area (2019) y Ainsworth (2006).

4.2.4. El proceso de desarrollo del Material Didáctico Digital

Al momento de pensar en el diseño de un material didáctico, Area (2019) recomienda que se debe organizar de forma clara cada una de las acciones y factores que determinarán el

proceso de planificación y elaboración del MDD. A continuación, se explican y se describen de manera breve los principales pasos y aspectos que según Area (ULL audiovisual - Universidad de La Laguna, 2019, 6m5s) se deben tener en cuenta al diseñar, desarrollar y evaluar un recurso o material didáctico digital que sea válido y eficaz en entornos educativos. Los aspectos que se deben tener en cuenta son los siguientes:

El primer aspecto para tener presente es el ¿para qué?: El autor que va a realizar el MDD debe pensar para qué puede ser útil el material que va a diseñar, es decir que, debe establecer cuáles son las competencias u objetivos de aprendizaje que se quieren desarrollar en el estudiante cuando éste interactúe con el material, asimismo, es muy importante que tenga en cuenta las características del alumnado al que va dirigido el material.

El segundo aspecto es el ¿qué?: Es importante tener claro qué se quiere enseñar con el material, en consecuencia, se debe tener presente qué información y qué contenidos se deben incluir en el material. Además, se debe planear la manera como serán distribuidos y organizados dentro del material, así como la cantidad y adecuación a las características de los estudiantes o destinatarios.

El tercer aspecto es el ¿cómo?: En cuanto a este aspecto el autor aconseja que es importante pensar y decidir cómo se van a presentar los contenidos o la información, es decir el tipo de lenguaje y las formas de representación (por ejemplo, decidir si se usará una infografía, un texto de lectura, un video, imágenes, etc.). Igualmente, es recomendable pensar y formular alguna actividad complementaria para el momento en el que los estudiantes interactúen con el material.

El cuarto aspecto va en función del anterior, ya que consiste en identificar y seleccionar cuáles herramientas o aplicaciones permiten realizar dichas infografías, vídeos, textos de lectura, imágenes, entre otros objetos digitales, que constituirán el MDD para poderlo desarrollar.

El quinto aspecto consiste en probar o aplicar el MDD, es decir, testear el material con potenciales usuarios, permitiendo que interactúen con el material para luego tomar en cuenta sus opiniones respecto a su facilidad de manipulación y navegación, así como la sencillez para

comprender lo que se presenta en el material. En función de los resultados que se obtengan (provenientes de las opiniones y valoraciones que se recojan), se debe reelaborar el material en caso de ser necesario, para adecuarlo a las características de los usuarios. (ULL audiovisual - Universidad de La Laguna, 2019, 8m5s)

Finalmente, el autor recomienda que al elaborar un material se debe de mantener la autoría mediante la adquisición de licencias o derechos de autor, sin embargo, se hace hincapié en que muchas veces las licencias que se utilizan no permiten compartir los materiales con otras personas y para poder acceder a ellos deben pagar, como es el caso de las licencias copyleft. Por ende, se invita a los autores de materiales a que utilicen licencias que permitan en primer lugar respetar la autoría de quien crea el material, pero en segundo lugar que también permita compartir, distribuir e intercambiar este tipo de materiales con otras personas o instituciones, optando por entrar en la filosofía del contenido abierto.

5. OBJETIVOS

El problema de investigación que se aborda en este proyecto apunta a la posibilidad de conocer de qué manera se puede diseñar un MDD que permita reconocer e integrar los niveles de representación de la química tratando de considerar los aspectos relacionados con el diseño de los materiales didácticos digitales que han sido abordados a lo largo de este documento. Es decir que, esta propuesta está centrada en aportar una orientación sobre cómo aprovechar las representaciones multimediales para integrar los niveles de representación de la química a través de un proceso de diseño estructurado, el cual, a su vez, permita incidir de manera significativa en el proceso de enseñanza y aprendizaje de aspectos relevantes relacionados con el eje temático de las reacciones químicas.

5.1. Objetivo General

El objetivo general que orienta el proceso metodológico de este trabajo de grado consiste en: Diseñar un Material Didáctico Digital (MDD) que permita reconocer e integrar los niveles de representación de la química en el eje temático de las reacciones químicas para la educación media.

5.2. Objetivos Específicos

Para el alcance de este objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos que orientarán las fases metodológicas con las que se pretende dar respuesta al problema de investigación planteado.

- **OE1.** Determinar los elementos pedagógicos que orientan y fundamentan el diseño del material didáctico digital.
- **OE2.** Determinar (plantear) las características técnicas que permitirán materializar los elementos pedagógicos en el diseño del MDD.
- **OE3.** Desarrollar un prototipo que materialice el diseño del Material Didáctico Digital (MDD) en el que se reconozcan y se integren los niveles de representación de la química.

6. METODOLOGÍA

En seguida se presentan los aspectos metodológicos que orientan la resolución de la pregunta problema planteada, la cual es ***¿Cómo diseñar un material didáctico digital que permita el reconocimiento y la integración de los niveles de representación de la química?***

Para tener una mayor comprensión de los aspectos metodológicos llevados a cabo en este trabajo, se decide hacer una descripción detallada del enfoque metodológico y del procedimiento metodológico, el cual fue desarrollado en tres etapas.

6.1. Enfoque metodológico

Para el desarrollo de esta propuesta, se ha determinado que la metodología más adecuada es de tipo cualitativa descriptiva, la cual se ubica dentro de la línea de los estudios de diseño. Para empezar, lo que se busca mediante la investigación cualitativa, según Molina, Castro, Molina & Castro (2011), es comprender una situación en un contexto particular, que en el caso concreto de esta investigación, consiste en entender de qué manera se puede diseñar un material didáctico digital que permita el reconocimiento y la integración de los niveles de representación de la química para orientar la enseñanza del eje temático de reacciones químicas, aprovechando las posibilidades de representación multimedial que ofrecen las TIC. Para esto, a través de este trabajo se pretende especificar cómo se puede diseñar dicho material teniendo en cuenta aspectos como el conocimiento del contenido, el conocimiento de las dificultades/limitaciones y concepciones alternativas de los estudiantes, el conocimiento de las diversas formas de representar el conocimiento de un tópico específico y de su evaluación, igualmente, la selección de situaciones que puedan ser cercanas a los estudiantes y, la formulación de una metáfora que permita llamar la atención de los educandos al mismo tiempo que se convierta en el hilo conductor de una serie de contenidos temáticos seleccionados.

Por su parte, la línea de estudios de diseño busca comprender y mejorar la realidad educativa teniendo en consideración la complejidad de los contextos naturales y el posterior desarrollo y análisis de un diseño instruccional específico. De manera que, de acuerdo con

Molina, et al. (2011), la línea de estudios de diseño aporta a este proceso de desarrollo de dicho material didáctico, en la medida que permite conocer formas particulares de aprendizaje, estrategias y herramientas de enseñanza que pueden ser incorporadas de manera pertinente al sistema del aprendizaje, la enseñanza y la evaluación.

Así mismo, la realización de este diseño de la enseñanza tiene una función de orientación en la toma de decisiones de tipo pedagógico, se determinaron los aspectos pedagógicos que orientan y fundamentan el diseño de la propuesta o material de enseñanza: en este trabajo se decidió que el material estaría orientado y fundamentado en los paradigmas de la cognición situada y la cognición distribuida; así mismo se decidió que los contenidos estarían organizados en ideas y sub-ideas y representados a través de recursos multimediales, sumado a ello se decidió que se utilizarían estrategias como la narrativa y las metáforas, todo esto en pro de facilitar la articulación de los tres niveles de representación de la química., que buscan incidir positivamente en la calidad educativa, ya que mientras se estudia el proceso de enseñanza, aprendizaje y evaluación, y su manera de organización, se hace un análisis de las relaciones que existen entre teoría educativa, práctica e instrumentos, lo cual finalmente permite sugerir explicaciones de por qué esta propuesta puede ser adecuada para representar un contenido disciplinar específico, en este caso, el reconocimiento y la integración de los niveles de representación a través del abordaje del eje temático de las reacciones químicas. Adicionalmente, todo ese proceso de diseño puede terminar adquiriendo un trasfondo de investigación continuada, ya que aporta valiosa información que puede ser retomada en algún momento para realizar otros diseños que se adapten a nuevos contextos (Molina et al., 2011). En pocas palabras, los estudios de diseño son orientados por la teoría y hacia la práctica y son una fuente generadora de modelos teóricos (Cobb et al., 2003; Shavelson, Phillips, Towne y Feuer, 2003) citados por Molina et. al. (2011, p. 76) que pueden encaminarse hacia la mejora en la manera cómo se enseña, cómo se aprende y cómo se construye conocimiento en el campo de la educación en ciencias naturales.

6.2. Procedimiento metodológico

Para realizar el diseño de un Material Didáctico Digital a través del cual se pueda reconocer e integrar los niveles de representación de la química centrado en el tema reacciones químicas, desde la línea de estudios de diseño, se consideraron tres fases:

Fase de diseño pedagógico del MDD. Esta fase estará determinada por los principales elementos pedagógicos que fundamentaron el diseño del MDD, entre los que se destacan: el enfoque pedagógico que orienta la propuesta, los objetivos que se pretenden alcanzar, las características de los destinatarios a los que va dirigido el material, el análisis didáctico del contenido sobre el cual se desarrolló el MDD. Además, se plantean las principales estrategias que se usaron en el diseño, las cuales corresponden a la organización del contenido seleccionado en una gran idea y sub-ideas, el planteamiento de una metáfora educativa para ambientar a los usuarios en el proceso de interacción con el MDD y la narrativa a la que se recurrió para crear un hilo conductor que generara coherencia en el material.

Fase de diseño técnico del MDD. En esta fase se dará cuenta del tipo y características técnicas del material didáctico digital que se espera diseñar, de la organización técnica (fases en las que fue distribuido el contenido y el planteamiento de las actividades). También, se describirá la interfaz comunicativa utilizada para materializar la estrategia de la metáfora educativa detallando los escenarios, menús y demás elementos que conforman la interfaz del MDD. Un aspecto muy importante en esta fase consiste en describir la historia “storytelling” o narrativa que da sentido y significado al uso pedagógico del MDD presentando los personajes, sus personalidades y sus respectivos roles en ella. Finalmente, se presentarán los aspectos generales de la navegabilidad que se propone en el MDD.

Fase de materialización del prototipo en formato digital. Esta fase está directamente relacionada con los resultados (prototipo del MDD) y en ella se explica los motivos de la realización de un prototipo y no de todo el MDD, además se detalla el proceso de desarrollo y los aspectos técnicos del programa en que se materializó el prototipo del MDD, tales como las características, la compatibilidad, las versiones y los requerimientos técnicos del material para funcionar.

A continuación, se desarrolla ampliamente cada una de estas fases.

6.2.1. Fase de diseño pedagógico del Material Didáctico Digital

6.2.1.1. Enfoque pedagógico.

En este apartado se identifican los principales planteamientos pedagógicos que fundamentan el diseño del Material Didáctico Digital, los cuales son: la cognición situada y la cognición distribuida. Estos planteamientos se desarrollan desde una perspectiva cognitiva y constructivista

y atiende al contexto tecnológico en el que está enmarcado el diseño del presente material didáctico.

Para empezar, uno de los referentes pedagógicos es *la cognición situada* cuya premisa principal plantea que “el conocimiento está situado, siendo en parte un producto de actividad, del contexto y de la cultura en la cual se desarrolla y se utiliza” (Brown, J., Collins, A. & Duguid, P., 1989, p. 33-42) citados por Franky (2009, p. 64). En otras palabras, desde esta mirada el aprendizaje situado es visto como un conjunto de conocimientos o prácticas que se construyen dentro de un contexto, pero a la vez, se ve influenciado por las actividades culturales y sociales desarrolladas en él.

Desde este paradigma, el aprendizaje escolar es visto como un proceso donde se integra al estudiante a una cultura de prácticas sociales propias de su comunidad, por eso el contexto es un elemento importante a tener en cuenta en la construcción del conocimiento, pues al final, el propósito que le da significado a la construcción de los conocimientos en la escuela, es que el educando pueda estar en la capacidad de aplicarlos o relacionarlos a su vida cotidiana, por ende, acciones como el “aprender” y el “hacer” deben ir siempre unidas. Por consiguiente, un principio fundamental de este enfoque es que los estudiantes aprendan en un contexto pertinente (Díaz-Barriga, 2003).

Bajo el enfoque de la cognición situada, el proceso de construcción del conocimiento no debería desarrollarse en las escuelas de manera declarativa, abstracta, y mucho menos, descontextualizada, por el contrario, durante los procesos educativos se debe propiciar la articulación entre el saber qué (know what) y el saber cómo (know how), de forma que el conocimiento no sea tratado o visto como algo neutral, ajeno, autosuficiente e independiente de las situaciones de la vida real o de las prácticas sociales de la cultura a la que se pertenece, pues de ese modo los aprendizajes adquiridos se vuelven carentes de significado, sentido y aplicabilidad, e incluso pueden llegar a dificultar que los aprendizajes puedan ser transferidos a otras situaciones o contextos (Díaz-Barriga 2003).

Teniendo en cuenta lo anterior, se ha considerado importante implementar en el MDD una metáfora que permita crear un contexto cercano a los estudiantes y así poder darle sentido y significado a los contenidos que se desean enseñar, simulando un espacio/situación hipotética

pero interesante, donde el educando se involucre y pueda participar activamente, en este caso particular, mediante retos que consisten en el descubrimiento de una lista de misterios. De igual modo, se pretende que a medida que el educando vaya resolviendo dichos retos pueda ir construyendo y afianzando conocimientos que luego puedan ser extrapolados a las demás situaciones y retos del MDD.

Con esto se busca seguir con los lineamientos de la cognición situada, ya que se espera ubicarlo (de manera virtual) en un contexto que le genere cercanía y mediante el cual el estudiante pueda tener la capacidad de reconocer la existencia de los diferentes niveles de representación de la química para que una vez sean asimilados por él, pueda explicar fenómenos y situaciones de su vida cotidiana.

Por otro lado, otro referente que se tuvo en cuenta en este diseño fue **la cognición distribuida**, la cual plantea que la cognición humana se distribuye más allá del propio organismo en la medida que abarca a otras personas y otros elementos del entorno, además considera que se apoya en medios simbólicos aprovechando los artefactos, herramientas y recursos que estén a disposición en el mismo contexto. Dicho en palabras de Pea (2001), la inteligencia distribuida hace referencia al pensamiento que surge de las personas en acción y se manifiesta como una actividad. A su vez, dicha actividad adquiere una forma y un sentido gracias a la intervención de los recursos que se encuentran distribuidos entre las personas, los entornos y las situaciones. Cabe precisar que Pea (2001) también considera relevante la intencionalidad de la actividad, la cual puede proceder de los deseos del propio agente o de las expectativas de un creador que quiere proporcionar nuevas ocasiones para configurar la actividad de otro agente.

De acuerdo con lo anterior, se puede decir que los artefactos cobran gran importancia en la medida que proporcionan recursos para orientar o incrementar la actividad de las personas, por lo tanto, en la actividad educativa es indispensable pensar de manera consciente las características que debe poseer aquel artefacto que va a ser utilizado para orientar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Por este motivo, dentro de la visión de la cognición distribuida, en este documento se considera también la postura de Perkins (2001) quien propone: el concepto de *persona-más* para referirse a la persona más el entorno; y un *marco de acceso* mediante el cual se debe caracterizar

a la información que es proporcionada por el ambiente. Según este autor, el pensamiento y el aprendizaje de la *persona-más* no dependen solo de la información proporcionada por el entorno, sino también de sus características y de la manera como está organizada esa información, en el sentido de, si se facilita o no el acceso a ella. Teniendo en cuenta esta postura, algunas de las características que se deben tener en cuenta, según Perkins (2001,) son: qué tipo de pensamiento se representa, cómo se lo representa o con qué facilidad se lo puede recuperar.

Además, desde la perspectiva de Perkins (2001), se puede decir que la cognición es considerada como un flujo de información configurado en un sistema de procesamiento de conocimientos, es decir que, el conocimiento es recolectado de varias partes del sistema y al momento que se empieza a utilizar ese conocimiento en diferentes tareas, se va incrementando ese sistema de conocimiento. Dado que en este sistema adquiere gran importancia la facilidad con la que se puede acceder al conocimiento, se ha considerado un marco de acceso conformado por cuatro categorías: conocimiento, representaciones, recuperación y construcción, que en conjunto ayudan a examinar la manera como ha de distribuirse el pensamiento y el aprendizaje que se desean lograr, en este caso particular, el reconocimiento y la articulación de los niveles de representación de la química mediante el diseño del MDD.

En la siguiente tabla se expone brevemente el marco de acceso planteado por Perkins (2001) y la manera como fueron tenidas en cuenta en el diseño de este MDD en particular.

Tabla 7. Marco de acceso que orienta el diseño del MDD para el caso específico del reconocimiento e integración de los niveles de representación de la química en la enseñanza de las reacciones químicas

Marco de acceso según Perkins (2001)		Aplicación en el diseño del MDD
Categoría	Descripción y recomendaciones	
Conocimiento	Se refiere al tipo de saber disponible, incluye el saber de tipo declarativo y procedimental, los hechos, las estrategias y las rutinas. Se sugiere no solo trabajar el conocimiento del “nivel del contenido” (hechos y procedimientos)	En el MDD se planteó una gran idea que apunta a la integración del nivel macroscópico, el submicroscópico y el simbólico de manera paulatina. Para ello, se utilizó una metáfora en la que un detective sugiere la resolución progresiva de tres misterios y, cada uno de ellos está asociado a una reacción química específica. A su vez, cada misterio

	sino que se debe procurar trabajar también el conocimiento de “orden superior” mediante estrategias de resolución de problemas, estilos de justificación, explicación y características investigativas de dominio	se desarrolló a través de tres sub-ideas con el propósito de abordar el conocimiento conceptual, referente a cada reacción y a los niveles de representación de la química, de manera que se fuera aumentando el nivel de complejidad respecto al marco de referencia sugeridos por Arillo et al. (2015): enfoque macroscópico, atómico-molecular y cuántico. Además, cada sub-idea fue desarrollada en tres fases de aprendizaje (de exploración, de desarrollo y de aplicación) con el propósito de que la información fuera siendo proporcionada de manera paulatina y así pudiese ser incorporada en el esquema mental de los estudiantes para que finalmente, ellos pudiesen aplicar esa información, que ha adquirido algún sentido para ellos, en nuevas situaciones que lo requieran. <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Gran idea</th></tr> <tr> <th>Sub-idea 1</th><th>Sub-idea 2</th><th>Sub-idea 3</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fase de introducción</td><td>Fase de introducción</td><td>Fase de introducción</td></tr> <tr> <td>Fase de desarrollo</td><td>Fase de desarrollo</td><td>Fase de desarrollo</td></tr> <tr> <td>Fase de aplicación</td><td>Fase de aplicación</td><td>Fase de aplicación</td></tr> </tbody> </table> Con esta estructura, lo que se busca es que el conocimiento no sea acumulativo, sino que sea continuamente retomado y aplicado a diferentes situaciones. Además, se establecieron diferentes tipos de actividades cuyas características dependen de la fase a la que corresponden. A través de las actividades se pretende que los estudiantes puedan ir asimilando el conocimiento que les permita relacionar los diferentes niveles de representación para que finalmente puedan construir sus propias explicaciones y aplicarlas a otras situaciones.	Gran idea			Sub-idea 1	Sub-idea 2	Sub-idea 3	Fase de introducción	Fase de introducción	Fase de introducción	Fase de desarrollo	Fase de desarrollo	Fase de desarrollo	Fase de aplicación	Fase de aplicación	Fase de aplicación
Gran idea																	
Sub-idea 1	Sub-idea 2	Sub-idea 3															
Fase de introducción	Fase de introducción	Fase de introducción															
Fase de desarrollo	Fase de desarrollo	Fase de desarrollo															
Fase de aplicación	Fase de aplicación	Fase de aplicación															
Representaciones	Se refiere al modo en el que se simboliza el conocimiento. Se considera que los modelos visuales mentales ayudan a comprender conceptos nuevos y complejos. Se ha encontrado que, aunque los estudiantes pueden llegar a construir por sí mismos esos modelos, existen casos en los que resultaría más	Dado que el objetivo principal es integrar los niveles de representación de la química, a través del MDD se proporcionaron representaciones de modelos de partículas y símbolos para referirse a los reactivos y productos de cada reacción que fue abordada mediante la metáfora de los tres misterios que se debían resolver. Al utilizar los modelos de partículas se especificó si dicha representación se trataba de una															

	provechoso proporcionales esos modelos.	molécula, de un átomo y/o de un electrón. Por otro lado, la información que desarrolló en el MDD fue plasmada en diferentes tipos de formato, tales como: textos, gráficos, íconos, animaciones, tablas o vídeos. El propósito de esto fue, por un lado, facilitar la comprensión de conceptos o ideas que son muy abstractas, y por el otro, proporcionar una estructura del contenido que sea visualmente atractiva, ordenada y fácilmente navegable.
Recuperación	Hace referencia a la medida en que el sistema puede hallar las representaciones de ese conocimiento y con qué eficacia puede hacerlo. Se recomienda emplear estrategias que puedan hacer que el conocimiento que ha sido trabajado esté disponible para una recuperación contextualmente apropiada.	A lo largo de todo el MDD se procuró enlazar los nuevos conocimientos con los conocimientos previos de diferentes maneras: 1) Al plantear una metáfora que se convirtió en el hilo conductor del MDD. En dicha metáfora se plantearon tres misterios para abordar tres reacciones químicas diferentes, pero con un punto en común, que es responder a las tres sub-ideas propuestas. Es decir que, mediante cada misterio y reacción química, se puede favorecer que la información sea desarrollada en contextos diferentes. 2) Cada misterio, que corresponde a un tipo de reacción específico, fue desarrollado mediante tres fases de aprendizaje (de introducción, de desarrollo y de aplicación) y en cada fase el contenido fue abordado con un nivel de complejidad diferente tratando de apuntar a que se iniciara con un marco teórico que fuera más cercano a los estudiantes (descripción de la reacción química en términos de sustancias) para luego llegar a un marco teórico más abstracto y complejo (descripción de la reacción en términos de átomos y finalmente una descripción en términos de electrones de valencia). Ambos puntos, fueron pensados con el fin de que el MDD llamara la atención del estudiante, además que la información estuviera estructurada de manera que pudiera ser retomada constantemente y se evitara sobrecargar la capacidad de los estudiantes para procesar esta información.
Construcción	Es la capacidad del sistema para reunir el conocimiento en nuevas estructuras. Se debe tener en cuenta que la	Además de las representaciones que fueron usadas y de la estructura del MDD que fue utilizada (metáfora, tipos de reacciones, sub-ideas y fases), se utilizaron algunas estrategias como el uso de un tablero de

	memoria de corto plazo posee limitaciones para almacenar gran cantidad de información, por lo que muchos conceptos pueden llegar a ser inaccesibles para los estudiantes. Por eso, se recomienda diseñar de manera cuidadosa el entorno o material para proveer una memoria de corto plazo sustituta que ayude a los alumnos a alcanzar esos conceptos o ideas.	medallas (actúa como un recordatorio o como una estrategia para que el estudiante acceda a información clave para su aprendizaje), actividades simples de asociación con una retroalimentación general preestablecida mediante programación; actividades de práctica que le permitan al estudiante tener en cuenta sus percepciones; actividades de síntesis; de representación; de explicación y de argumentación.
--	--	--

Fuente: Elaboración propia

6.2.1.2. Objetivos de aprendizaje.

El diseño del MDD tiene como objetivo principal que los estudiantes de educación media logren identificar y diferenciar, de manera consciente, los niveles de representación de la química (nivel macroscópico, submicroscópico y simbólico) y asimilar las forma en la que estos se interrelacionan, en la medida que logran comprender que las reacciones químicas son procesos de transformación de la materia que dependen de las propiedades de las unidades submicroscópicas que componen las sustancias, además, que dichos procesos químicos pueden ser representados, cuantificados, explicados y comunicados a través de modelos gráficos y del lenguaje simbólico propio de la química. Para lograr esto, es importante que, además, los estudiantes puedan diferenciar las distintas escalas en las que pueden ser descritas las reacciones químicas, y puedan comprender que al estudiar las reacciones químicas estas deben ser asumidas como un sistema de sustancias conformadas por partículas imperceptibles que interactúan entre sí y que se caracterizan por poseer energía, estar en constante movimiento y chocar entre sí.

6.2.1.3. Destinatarios.

En primera instancia, el MDD ha sido diseñado como un material para ser utilizado en un contexto escolar para la enseñanza de la química en la educación en la media ya sea en la modalidad fuera de línea, como un archivo descargable y utilizable en un computador con acceso a internet o en la educación en línea a través de una página web, para que su utilidad también se amplíe a contextos escolares y extraescolares (educación formal y no formal). En tal caso, se considera que el MDD podría llegar a ubicarse en una plataforma educativa online o también

podría ser descargado facilitando su uso fuera de línea y su acceso en lugares o contextos con deficiente conectividad.

De acuerdo con lo anterior, se considera que los posibles usuarios del MDD pueden llegar a ser:

a) En un ambiente escolar. Teniendo en cuenta los objetivos y los contenidos que han sido previstos para el diseño del MDD dentro de un ambiente escolar, se considera que la población a la que va dirigido especialmente es al grupo de estudiantes que estén cursando la educación media, ya que generalmente, es en este nivel de escolaridad que se empieza a profundizar en el aprendizaje de los contenidos de la asignatura de química. Las edades de este grupo poblacional podrían variar entre los 15 y 17 años.

La selección de esta población se justifica además, porque los estudiantes pertenecientes a la educación media (10° y 11°) han adquirido durante los niveles anteriores habilidades, conceptos y conocimientos previos, es decir, han formado estructuras cognitivas más complejas y desarrolladas que los estudiantes de grados inferiores y por consiguiente, se considera que el MDD sería más adecuado para ellos debido a que los contenidos dentro del material poseen un alto nivel de abstracción y complejidad debido a su naturaleza y al uso de modelos mentales y representaciones de la realidad a diferentes escalas. Este material también podría ser implementado como un recurso complementario que facilite el proceso de enseñanza-aprendizaje de la química, ayudando principalmente al reconocimiento e integración de los niveles de representación dentro del eje temático de las reacciones químicas.

b) En un contexto no escolar. En este caso, cualquier persona podría acceder y utilizar el MDD, no obstante, se considera que se obtendrán mejores resultados con personas con un desarrollo del pensamiento abstracto y de la etapa de las operaciones formales, los cuales de acuerdo a la teoría del desarrollo cognitivo de Piaget (que plantea cómo un individuo construye conocimientos a partir de la experiencia e interacción con el mundo que le rodea), las edades en las que se llega a consolidar esta etapa y tipo de pensamiento, sería entre los 14 y 15 años (de Faroh, 2007). Esta decisión se asume teniendo en cuenta que hay una alta probabilidad de que, en edades inferiores a estas, muchos adolescentes aún no hayan desarrollado la capacidad de operar de un modo formal, lógico, sistemático, simbólico, y tampoco de comprender la lógica abstracta, analizar hipótesis, construir teorías y desarrollar habilidades cognitivas más complejas (Chavarría Arroyave, 2011).

Así mismo, se recomienda que los destinatarios cuenten con habilidades básicas en el manejo técnico de dispositivos electrónicos (computador, Tablet), al igual que con conocimientos básicos de química general (propiedades de la materia, estados de la materia, teoría atómica, estructura del átomo, comprensión de la tabla periódica, moléculas y iones). Cabe resaltar que el MDD también podría ser utilizado por estudiantes de educación superior en formación inicial, dado que en muchos programas académicos se ve en los primeros semestres química general, entre esos, estudiantes de licenciatura en formación inicial, y maestros de ciencias naturales en ejercicio.

6.2.1.4. Análisis didáctico del contenido.

La temática de las reacciones químicas constituye un elemento de gran importancia durante la formación académica, ya que a través de su estudio se puede crear un camino que nos dirija hacia la comprensión de lo que ocurre a nuestro alrededor y en el interior de nuestro organismo, así como de la variedad de aplicaciones que tiene en muchos procesos que adquieren relevancia en la vida diaria.

Sin embargo, como ya fue abordado en apartados anteriores, debido a la naturaleza abstracta y dinámica de las reacciones químicas, pueden presentarse muchas dificultades y limitaciones durante su enseñanza y aprendizaje. Por ello, para estudio y explicación las reacciones químicas precisan de una serie de modelos, conceptos, representaciones gráficas, conjunto de signos y símbolos, lo que implica para el docente la difícil tarea de relacionar ese gran conjunto de conocimientos y transformarlo en algo que sea entendible para los estudiantes y que además sea significativo para ellos. Por consiguiente, en la presente propuesta se considera pertinente seleccionar reacciones químicas que adquieran una aplicación cercana al contexto de los estudiantes, por este motivo, se seleccionó en primer lugar la fotografía como aquel elemento humano y contextualizado que recalcan autores como Mahaffy (2006), Talanquer (2011),

La fotografía resultó interesante, ya que genera la posibilidad de estudiar diferentes procesos químicos no solo de manera conceptual, sino también, con un componente creativo y práctico. Adicionalmente, se pensó en una segunda situación que corresponde a la revelación de mensajes secretos escritos con tintas incoloras. En este sentido, se seleccionaron tres reacciones

químicas para ser representadas y descritas en los diferentes niveles de representación del conocimiento químico (macroscópico, submicroscópico y simbólico), con lo que se espera abordar diferentes conceptos y teorías del campo de la química que son relevantes para el aprendizaje que se lleva a cabo durante el proceso escolar. Además de esto, estas reacciones químicas sirven como una estrategia que ayudará a guiar el proceso de enseñanza y aprendizaje en el sentido que podría: a) facilitar el reconocimiento de los diferentes niveles de representación de la química y la integración entre cada uno de ellos, b) favorecer el aprendizaje del conocimiento científico mediante su representación en los diferentes niveles de representación, c) contribuir a que el conocimiento científico adquiera un contexto cercano a los estudiantes. Cabe recordar que, los tres niveles de representación seleccionados se basan en la propuesta de Johnstone, pero se le incorpora el elemento humano como lo recomiendan autores como Mahaffy (2006) y Talanquer (2011). Además, se incorpora el manejo de diferentes escalas basados en las propuestas de Talanquer (2011) y Arillo et al. (2015).

En concreto, para el análisis didáctico de cada reacción se inicia por el nivel más cercano a los estudiantes, es decir el nivel macroscópico, esto se hace de manera descriptiva y teórica (en términos de sustancias). Se prosigue con un marco teórico más abstracto que es el nivel submicroscópico, en el que se manejan dos escalas: a) en términos de átomos y b) en términos de electrones de valencia. Por último, se hace la descripción correspondiente al nivel simbólico que se diferencia en un componente cualitativo y en un componente cuantitativo. No obstante, es pertinente aclarar que de las 3 reacciones químicas seleccionadas sólo la reacción de combustión incompleta del ácido cítrico (que corresponde al misterio número 1: relevación de mensajes secretos escritos con tintas incoloras) se materializó en el prototipo del MDD, por ende, a continuación se muestra la descripción de la reacción número uno, mientras que el análisis y descripción de las otras dos reacciones que no fueron materializadas en el prototipo del MDD se encuentran en los anexos (Ver en el anexo 1).

Reacción 1: Reacción de combustión incompleta del ácido cítrico

Para empezar, un contexto de aplicación de esta reacción química que cobró interés para el desarrollo de la presente propuesta fue el de su uso en la creación de mensajes secretos para comunicar mensajes en tareas de espionaje, en las que era necesario comunicar información bajo

un carácter reservado. Para lograr esto, fue necesario la identificación de sustancias que tuvieran la capacidad de ser imperceptibles a simple vista para poder escribir el mensaje y que luego, mediante alguna técnica específica algunos pocos pudieran hacer perceptible el mensaje. Un ejemplo de este tipo de tinta es la realizada a partir del zumo de limón, ya que, aunque es ligeramente amarillo, al entrar en contacto con una superficie de papel blanco y después de secarse, generalmente se vuelve casi imperceptible a simple vista. Pero, cuando se decide acercar el papel a una fuente de calor se genera un cambio de color y se logra visualizar el mensaje que estaba oculto.

Explicación desde el nivel macroscópico.

Enfoque descriptivo: El zumo de limón es un líquido de color ligeramente amarillento, que, al usarse para escribir un mensaje sobre una hoja de papel, humedece el papel, pero la tinta se percibe incolora. Una vez se seca el papel, se alcanza a percibir un ligero color blanco donde fue utilizada la tinta de zumo de limón. Cuando se decide acercarlo a una fuente de calor, se logra percibir que la parte del papel donde fue utilizada la tinta se torna oscura. La principal característica de esta reacción es el cambio de coloración apreciable a través del papel.

Enfoque teórico: Para empezar, se debe tener en cuenta que el cambio de color ocurrido en esta reacción química se puede percibir a través del papel que corresponde a una mezcla sólida de diferentes sustancias, entre ellas la sustancia sólida celulosa sobre la que, en algún momento, el ácido cítrico hace algún efecto y se crean nuevas sustancias. Con base en esto, es importante tener en cuenta que el papel se convierte en un medio para poder percibir la reacción de combustión del ácido cítrico.

En cuanto al zumo de limón, corresponde a una mezcla de diferentes sustancias y una de ellas es ácido cítrico que se encuentra disuelto en esta mezcla líquida. El ácido cítrico es una sustancia combustible que a una determinada temperatura reacciona con una sustancia comburente, generalmente con el oxígeno que es una sustancia gaseosa que hace parte de la mezcla de gases que se conoce como aire. Producto de esta reacción química de combustión, se obtienen tres nuevas sustancias que son: carbono en estado sólido perceptible con una coloración oscura, el gas monóxido de carbono que es incoloro y vapor de agua que también es incoloro.

Explicación desde el nivel submicroscópico

Escala atómico-molecular: Como se mencionó con anterioridad, el papel es el medio a través del cual se hace evidente la reacción. Uno de los principales componentes del papel es la sustancia celulosa, que está conformada por diferentes moléculas que se encuentran muy juntas entre sí, formando una estructura compacta. Cada molécula de celulosa consiste en una larga cadena de átomos de carbono, de hidrógeno y de oxígeno unidos entre sí. La estructura básica que se repite una gran cantidad de veces es la conformada por seis átomos de carbono, diez átomos de hidrógeno y cinco átomos de oxígeno.

Cuando el papel es humedecido con el zumo de limón inicia la descomposición de las moléculas de celulosa, que es un proceso que ocurre muy lentamente. Las moléculas que se forman a partir de esta descomposición se oxidan más rápido que las moléculas de la celulosa original y cuando esto ocurre se percibe una coloración marrón.

Por otro lado, las moléculas de ácido cítrico, que hacen parte de la tinta de zumo de limón, están formadas por seis átomos de carbono, ocho átomos de hidrógeno y seis átomos de oxígeno. Las moléculas de ácido cítrico se encuentran muy juntas y poseen poco movimiento, por lo que a nivel macroscópico la sustancia se puede percibir en estado sólido. En cuanto a las moléculas de oxígeno con las que interactúan las moléculas de ácido cítrico, consisten en la unión de dos átomos de oxígeno y se conoce como dioxígeno. Estas moléculas se encuentran en el aire y están muy separadas unas de otras, por lo que a nivel macroscópico se percibe como una sustancia en estado gaseoso.

Cuando ocurre un aporte de energía (en forma de calor) se aumenta la temperatura y se inicia el rompimiento de los enlaces de cada molécula (tanto de las moléculas de ácido cítrico y las moléculas de dioxígeno), lo cual hace que varios átomos que hacían parte de estas moléculas queden libres. Además, con el aporte de energía y el aumento de calor aumenta la energía cinética de estas moléculas y de los átomos que quedan libres, con lo que aumentan sus movimientos, lo que conlleva a que haya una mayor probabilidad de choque de las partículas y que aumente la posibilidad de formarse nuevas uniones entre átomos.

Conviene destacar que los átomos que conforman las moléculas de ácido cítrico y las moléculas de dióxigeno forman un sistema, es decir que, las uniones que se generen se realizarán entre los átomos que antes conformaban estas moléculas. Al final de la reacción química quedan: átomos de carbono libres y moléculas dióxido de carbono (cada una conformada por un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno) y moléculas de agua (cada una conformada por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno). Las moléculas de dióxido de carbono se encuentran muy separadas entre sí, por lo que macroscópicamente se percibe como una sustancia gaseosa. Ocurre lo mismo con las moléculas de agua, por eso, al momento de ocurrir la reacción química estas sustancias son ignoradas, ya que son difícilmente perceptibles. En cuanto a la coloración oscura que se observa, podría deberse a que los átomos de carbono que quedan libres no reflejan la luz en el espectro visible o podría ocurrir que pueden interactuar con otras moléculas que se caractericen por esta coloración.

También es importante tener en cuenta que cuando se acerca el papel (sobre el que se encuentra el ácido cítrico) a la fuente de calor, se evidencia que entre la celulosa y el ácido cítrico (ambos son combustibles), el que requiere una menor temperatura para iniciar la combustión es el ácido cítrico.

Escala subatómica: Antes de abordar lo que ocurre en esta reacción, debe iniciarse por recordar que cada tipo de átomo posee una determinada cantidad de protones, neutrones y electrones, estos últimos se mueven alrededor del núcleo y pueden disponerse en diferentes lugares de dicho espacio (periferia del núcleo). Los científicos han propuesto unas regiones del espacio alrededor del átomo en el que existe la mayor probabilidad de que se encuentre cada electrón. Otro aspecto que debe tenerse en cuenta es que esas regiones son representadas como capas o niveles energéticos, de acuerdo con el número atómico de cada tipo de átomo, se espera conocer la cantidad de electrones que tiene cada tipo de átomo. La disposición de dichos electrones en estos niveles energéticos cambia. Así, los electrones de los tres tipos de átomos que participan en esta reacción química (átomos de carbono, de oxígeno y de hidrógeno) se disponen en distintos niveles de energía. Esto es fundamental saberlo porque cuando cada nivel de un átomo tiene el máximo número de electrones posible, se alcanza un estado de mayor estabilidad

y menor probabilidad de enlazarse a los electrones de otros átomos, la cantidad de electrones que se hallen en el último nivel energético de cada átomo determina si el átomo requiere puede compartir electrones con otros átomos o pueden ser cedidos/ganados por otros átomos.

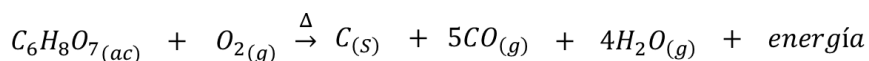
Por otro lado, cada molécula de ácido cítrico está formada por átomos de carbono, de hidrógeno y de oxígeno que comparten electrones entre sí para formar una estructura con un mayor grado de estabilidad. Por su parte, cada molécula de dióxígeno está formada por la unión de dos átomos de oxígeno, esta unión no es tan estable ya que quedan algunos electrones libres, por lo que existe una alta probabilidad de que los átomos de oxígeno se unan con otros átomos. El hecho de que se requiera de un aporte de energía y de temperatura para que se inicie la reacción entre las moléculas de ácido cítrico y dióxígeno, esto lleva a pensar que la molécula de ácido cítrico tiene una gran estabilidad mientras que los átomos que conforman la molécula dióxígeno tienden a atraer electrones de otros átomos o moléculas.

Al generarse el rompimiento de enlaces y aumentar la velocidad de movimiento y la capacidad de choque entre partículas, es de esperarse que los átomos de oxígeno, de carbono y de hidrógeno se unan a otros átomos del sistema de partículas moléculas de ácido cítrico-moléculas de dióxígeno. Así pues, de esta combinación de nuevas uniones, se forman moléculas de monóxido de carbono, moléculas de agua y quedan libres algunos átomos de carbono.

Explicación desde el nivel simbólico

Enfoque cualitativo: El subsistema conformado por los átomos que forman las moléculas de ácido cítrico y los que forman las moléculas de dióxígeno interactúan entre sí, en presencia de una fuente de energía capaz de aumentar la temperatura, lo cual hace que se rompan los enlaces atómicos de estas moléculas (ácido cítrico y dióxígeno), que las partículas se muevan más rápido y que se generen más choques entre sí, lo que favorece que se creen nuevas uniones atómicas. Estas sustancias que participan entre sí y a partir de las cuáles se generan nuevas uniones, se denominan reactivos. Una vez ocurre la reacción química se genera un nuevo subsistema en el que participan los mismos átomos que conforman a los reactivos. De modo que, este subsistema consta de los productos de la reacción química ocurrida, en este caso, átomos de carbono, moléculas de dióxido de carbono y moléculas de agua. Al unir los dos subsistemas

forman un gran sistema que corresponde al proceso de la reacción química. Este proceso se puede simplificar de la siguiente manera:



De esta ecuación química se puede obtener mucha información tanto a nivel macroscópico como a nivel submicroscópico. Por ejemplo, a nivel macroscópico se puede obtener la siguiente información:

a) El estado de agregación de cada sustancia, así pues, el ácido cítrico se encuentra en estado acuoso, como ya se sabe que se trata de un sólido y que la tinta de zumo de limón es líquida, se puede inferir que se trata de una disolución, es decir, que el ácido cítrico hace parte de una mezcla homogénea del tipo sólido-líquido (una sustancia sólida se encuentra disuelta en un medio líquido); el dióxígeno en estado gaseoso; el carbono en estado sólido, mientras que el monóxido de carbono y el agua se encuentran en estado gaseoso.

b) El tipo de sustancia, ya que a cada elemento químico le corresponde un símbolo representado en letras, se puede inferir que, el ácido cítrico es un compuesto químico (formado por carbono, hidrógeno y oxígeno) que reacciona con el dióxígeno, el cual consta de un solo tipo de elementos. De esta reacción se forman dos nuevos compuestos que son el monóxido de carbono (formado por carbono y oxígeno) y agua (formado por hidrógeno y oxígeno), además, el elemento carbono queda libre.

c) Se requiere de un aporte de energía para iniciar esta reacción química, pero al final del proceso esa energía se manifestará de alguna manera, en esta reacción específica se manifiesta como aumento de temperatura que puede ser perceptible a través del sentido del tacto.

A nivel submicroscópico se podría saber que:

- a) Los mismos átomos que conforman la estructura de los reactivos (ácido cítrico y del dióxígeno) van a formar la estructura de los productos (carbono, monóxido de carbono y agua)
- b) Aunque la reacción química implica una serie de cambios, también existen criterios que se conservan, tales como el tipo de elementos que participan, la masa y la energía.

- c) Las reacciones químicas consisten en una interacción entre partículas

Enfoque cuantitativo: La misma representación simbólica puede darnos a conocer aspectos de tipo cuantitativo a partir de los subíndices y coeficientes estequiométricos. Por ejemplo, a nivel macroscópico estos nos ayudan a:

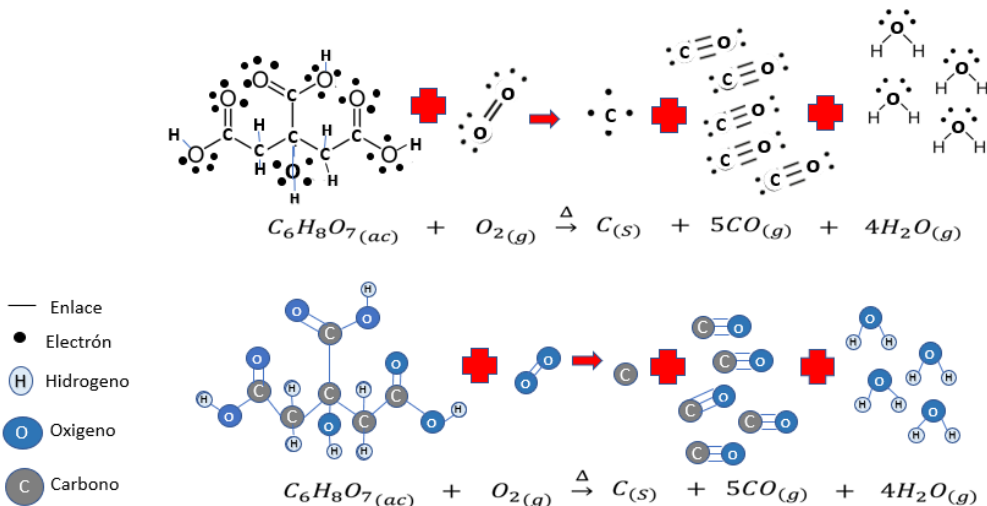
- a) Saber el número de sustancias que reaccionan y el número de sustancias que se forman
- b) Identificar la proporción de reacción y establecer relaciones de masa

También nos puede aportar la siguiente información cuantitativa a nivel submicroscópico

- c) Saber cuántas moléculas reaccionan y cuántas se forman
- d) Cuando se trata de una molécula, permite saber la cantidad de átomos de cada elemento para formar cada molécula.

También se deben tener en cuenta otro tipo de representaciones simbólicas como son: la estructura de Lewis, la fórmula molecular y la fórmula estructural de las sustancias aportan gran información en cuanto a los enlaces químicos.

Figura 5. Algunas representaciones simbólicas de la reacción de combustión del ácido cítrico.



6.2.1.5. Estrategias.

6.2.1.5.1. El planteamiento de la gran idea y las sub-ideas

Uno de los grandes retos que poseen los docentes al momento de diseñar sus materiales didácticos es la selección y organización del contenido, específicamente en el área de la química, pues como se ha reiterado en varias ocasiones, esta se caracteriza por poseer un gran conjunto de conocimientos que son demasiado abstractos y que se apoyan en un lenguaje simbólico propio, lo cual ha propiciado que por mucho tiempo estos contenidos hayan sido enseñados de manera fragmentada bajo un enfoque transmisionista y memorístico. Ante esto, los lineamientos y estándares curriculares desarrollados por el Ministerio de Educación Nacional de Colombia sugieren realizar una selección de aquellos conocimientos que tengan un carácter integrador y a través de los cuales se pueda llegar a comprender y conceptualizar situaciones abstractas y complejas.

En este sentido, para la elaboración del MDD se seleccionó la integración de los niveles de representación de la química como aquellos conocimientos que permiten comprender de manera sistémica los fenómenos en los que están implicadas las reacciones químicas. Además, este conocimiento se organizó como una gran idea integradora que facilite la incorporación de diferentes conceptos que son claves para el estudio de las reacciones químicas y que, como lo

plantea (Betancourth, 2018), les permitan a los estudiantes explicar situaciones y fenómenos que cobran importancia fuera del aula de clases, en el sentido que le posibilitan un mayor acercamiento a su cotidianidad.

De modo que, en la gran idea general se encuentran articulados los tres niveles de representación de la química, relacionando así los cambios químicos de la materia que se pueden percibir a nivel macroscópico con el comportamiento dinámico que subyace a nivel submicroscópico, el cual se basa en modelos de partículas y en representaciones simbólicas para su estudio, su comprensión y su comunicación.

A su vez la gran idea se descompone en tres sub-ideas más específicas, las cuales además de estar conectadas de manera coherente, tienen por objetivo abordar y articular dos o más niveles de representación con un mayor grado de profundidad que en la gran idea general. Para lograr esto, se han utilizado diferentes marcos conceptuales, por ejemplo, en la *sub-idea 1* se relacionan los niveles macroscópico y submicroscópico centrándose en el marco conceptual macroscópico, tanto en el enfoque descriptivo como en el enfoque teórico que fueron propuestos por Arillo et al. (2015). En la *sub-idea 2* se relacionan los niveles submicroscópico y simbólico, y se toma en cuenta el marco conceptual de la teoría atómico-molecular propuesta por Arillo et al. (2015). Mientras que en la *sub-idea 3* se relacionan los niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico, desde el marco conceptual de la teoría cuántica propuesta por Arillo et al. (2015).

De acuerdo con lo anterior, se considera que las sub-ideas facilitan que el estudiante, de manera gradual, logre reconocer y articular un nivel con otro hasta llegar a lo que se plantea en la gran idea general, es decir, que se podría ver a las sub-ideas como unos objetivos específicos que están conectados de manera coherente y que, al irlos alcanzando, permitirán cumplir el objetivo general que en este caso sería la gran idea.

Asimismo, se considera que la secuenciación de las sub-ideas centradas en los marcos conceptuales propuestos por Arillo et al. (2015) que van de menor a mayor complejidad, favorece que el estudiante pueda comprender mejor los procesos químicos ya que se parte de descripciones poco profundas donde se utilizan términos como sustancias, luego se profundiza un poco más y se involucran términos como átomos, moléculas, hasta llegar a descripciones y

explicaciones más profundas donde se utilizan términos como electrones de valencia, adicionalmente, se utilizan representaciones de partículas y un lenguaje simbólico de manera conjunta para apoyar dichas explicaciones. A continuación, se presenta la gran idea y las tres sub-ideas centradas en los tres marcos teóricos conceptuales propuestos por Arillo et al. (2015).

Gran idea. Durante las reacciones químicas ocurre un proceso de transformación de sustancias que se manifiesta como cambios a nivel macroscópico, generalmente perceptibles a través de los sentidos. Estos cambios son determinados por el comportamiento dinámico de las partículas submicroscópicas que componen a las sustancias, que consiste en el rompimiento de los enlaces químicos que sufren las moléculas de los reactivos para formar nuevas moléculas de los productos y la formación de nuevas uniones atómicas gracias a la interacción electrónica de los átomos que participan. Este proceso se puede representar mediante el uso de modelos gráficos y de un lenguaje simbólico que facilitan la comprensión y la comunicación del comportamiento de las partículas submicroscópicas que componen la materia.

Sub-idea 1 (Relación nivel macro-submicro explicado desde el marco conceptual macroscópico y el nivel descriptivo propuesto por Arillo et al. (2015)). Durante una reacción química la materia presenta cambios que generalmente pueden ser percibidos a nivel macroscópico a través de los sentidos. A estos cambios les subyace una dinámica submicroscópica en la que interactúan entidades no visibles que constituyen a las sustancias. Esta dinámica puede llevar a que ocurra un proceso de transformación del que se obtienen nuevas sustancias con estructuras químicas y propiedades macroscópicas diferentes a las iniciales.

Sub-idea 2 (Relación nivel submicroscópico-simbólico explicado desde el marco conceptual de la teoría atómico-molecular propuesta por Arillo et al. (2015)). Las reacciones químicas implican un proceso de interacción de los átomos que componen a las sustancias participantes. En el proceso, estas partículas submicroscópicas se separan y se reorganizan, formándose nuevas sustancias con estructuras químicas y propiedades macroscópicas diferentes a las iniciales, pero que, en conjunto, están constituidas por los mismos átomos de las sustancias que reaccionaron. Este proceso de reorganización de átomos puede ser representado a través del uso de modelos gráficos de partículas y de un lenguaje simbólico, que facilitan la comprensión y cuantificación del proceso químico que conlleva a la formación de nuevas estructuras químicas

Sub-idea 3 (Relación nivel macroscópico-submicroscópico-simbólico desde el marco conceptual de la teoría cuántica propuesta por Arillo et al. (2015)). Las reacciones químicas generalmente son percibidas a nivel macroscópico debido a que ocurre un proceso de transformación en el que se forman nuevas sustancias, el cual puede ser representado mediante modelos gráficos y un lenguaje simbólico que facilitan la comprensión de lo que subyace submicroscópicamente. Es decir, el proceso de rompimiento de enlaces atómicos y su reorganización en nuevas combinaciones atómicas gracias al intercambio o compartimiento de electrones de valencia de los átomos que participan, lo que deja como productos de la reacción química nuevas sustancias con propiedades químicas y características macroscópicas diferentes a las iniciales.

6.2.1.5.2. Relación entre el contenido conceptual seleccionado y las sub-ideas

Una vez planteadas la gran idea y las sub-ideas, se decidió que cada reacción química sería abordada con base en el nivel de complejidad propuesta en cada sub-idea, es decir que, la explicación de cada reacción fue estructurada siguiendo el esquema planteado en cada sub-idea, tal como lo muestra la Figura 5.

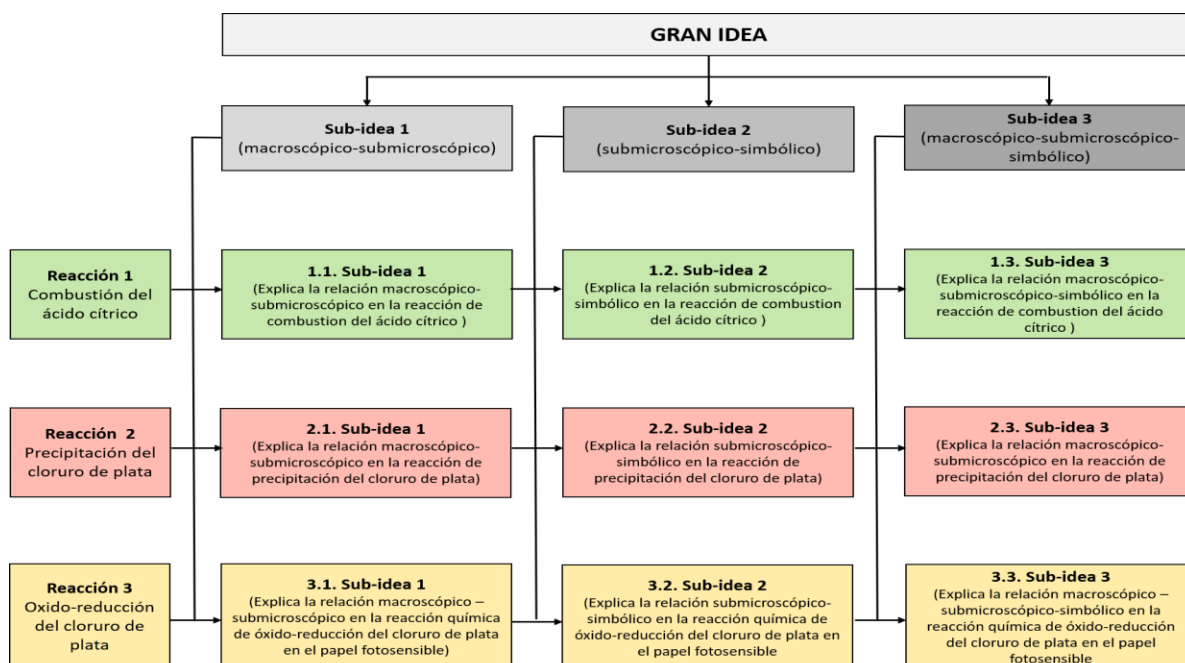


Figura 6. Esquema de estructuración del contenido conceptual en la gran idea y las tres sub-ideas

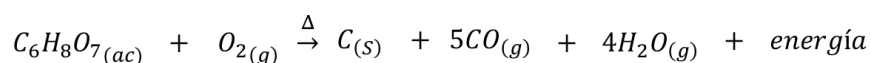
A continuación, cada reacción química se aborda y se explica desde la gran idea y las tres sub-ideas, en otras palabras, cada una de las reacciones es abordada y explicada, primeramente, desde el nivel macro-submicro en términos de sustancias (sub-idea 1), luego, desde el nivel submicro-simbólico en términos de átomos-moléculas (sub-idea 2) y finalmente, desde los tres niveles en términos de átomos-electrones (sub-idea 3).

Cabe resaltar que las sub-ideas contextualizadas en cada reacción establecen y explicitan el propósito que se quiere lograr. Por ejemplo, la sub-idea 1 contextualizada en la reacción 1, orienta, establece y explicita que el propósito que se quiere lograr es que el estudiante relacione los cambios de coloración macroscópicos con la dinámica ocurrida a nivel submicroscópico cuando un papel en el que reposa una cierta cantidad de ácido cítrico (proveniente de una tinta de zumo de limón) se acerca a una vela encendida. Se pretende explicar que aquellas sustancias (término de naturaleza macroscópica) que están reaccionando (ácido cítrico-dioxígeno) están conformados por partículas submicroscópicas que interactúan entre sí gracias al aporte de energía (llama) hasta formar nuevas sustancias (carbono, monóxido de carbono y agua), las cuales tienen estructuras químicas y propiedades macroscópicas diferentes a las de las sustancias iniciales y por ello se perciben cambios de color. En seguida se muestran las tres sub-ideas contextualizadas de acuerdo con cada una de las reacciones químicas.

Reacción química 1: Combustión incompleta del ácido cítrico.

Sub-idea 1. La reacción química que ocurre cuando un papel es humedecido con zumo de limón y es sometido a una fuente de calor estando expuesto al aire libre, se manifiesta como un oscurecimiento perceptible a simple vista desde el nivel macroscópico. Este cambio de color se debe a que las partículas submicroscópicas que componen el ácido cítrico presente en el zumo de limón, y las que componen el oxígeno presente en el aire, interactúan entre sí en una reacción de combustión gracias al aporte de energía, y se terminan transformando en nuevas sustancias tales como el carbono, el monóxido de carbono y agua, cuyas partículas submicroscópicas poseen estructuras químicas y propiedades macroscópicas diferentes a las de las sustancias iniciales.

Sub-idea 2. La reacción de combustión ocurre por la interacción entre las partículas submicroscópicas que conforman las moléculas de ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) y de dioxígeno (O_2) que gracias a un aporte de energía, las uniones atómicas de estos reactivos se rompen y se reorganizan para finalmente formar como productos carbono (C), monóxido de carbono (CO) y agua (H_2O), y aunque poseen estructuras químicas y propiedades macroscópicas diferentes, en conjunto están formados por los mismos átomos de las sustancias que reaccionaron. Este proceso de reorganización de átomos se puede representar de manera simple a través de la siguiente ecuación química, la cual indica la composición de cada sustancia y la proporción de reacción.

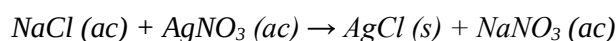


Sub-idea 3. La reacción química entre el ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) y el dioxígeno (O_2) producen un cambio de coloración observable a nivel macroscópico debido a su transformación en nuevas sustancias. Esta reacción se puede representar de manera simplificada mediante modelos gráficos y un lenguaje simbólico que facilitan la comprensión de lo que subyace submicroscópicamente, es decir, el proceso de rompimiento de enlaces atómicos de las moléculas del ácido cítrico, que deja moléculas y átomos con electrones de valencia desapareados que tienden a ser atraídos por los átomos de oxígeno, por lo que se forman nuevas uniones atómicas. Al final de esta nueva organización química e intercambio de electrones, queda carbono (C), monóxido de carbono (CO) y agua (H_2O) como productos de la reacción química, las cuales son sustancias con estructuras químicas y propiedades macroscópicas diferentes a las iniciales.

Reacción química 2: Formación del precipitado de cloruro de plata.

Sub-idea 1. En la reacción química ocurrida al combinarse las soluciones incoloras de nitrato de plata y cloruro de sodio (reactivos), aparece un producto a manera de precipitado blanco (cloruro de plata) perceptible a simple vista desde el nivel macroscópico. Esto ocurre debido a que, a nivel submicroscópico, los reactivos son sales que al entrar en contacto con el agua se disuelven y se disocian en iones, que luego llegan a unirse para formar como productos, el cloruro de plata (insoluble en agua) y el nitrato de sodio (acuoso), con estructuras químicas y propiedades diferentes a las de los reactivos

Sub-idea 2. La reacción química de doble sustitución entre el nitrato de plata (AgNO_3) y el cloruro de sodio (NaCl), originan el cloruro de plata (AgCl) y el nitrato de sodio (NaNO_3) (ac) como productos. El proceso de interacción entre el AgNO_3 y el NaCl se da gracias a que, al mezclar ambas sustancias en agua, estas se disocian en iones individuales sodio, cloro, plata y nitrato, lo cual permite que los átomos de plata se unan con los átomos de cloro para formar el precipitado de cloruro de plata (AgCl) (s), así como la unión posterior de la molécula de nitrato con los átomos sodio para formar nitrato de sodio en estado acuoso (NaNO_3) (ac). El proceso se puede representar a través de la siguiente ecuación química, la cual indica la composición de cada sustancia, el estado en el que se encuentra y su proporción de reacción.



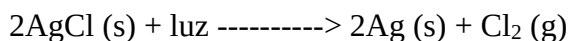
Sub-idea 3. La reacción química entre el AgNO_3 y el NaCl produce un precipitado blanco (AgCl) observable a nivel macroscópico. Esta reacción se puede representar mediante modelos gráficos y un lenguaje simbólico que facilitan la comprensión de lo que subyace submicroscópicamente. La dinámica de la reacción comienza al mezclar los reactivos AgNO_3 y NaCl en agua, que al ser sales en un medio acuoso se disocian en iones individuales (Na^+ , Cl^- , Ag^+ , NO_3^-), de estos iones, el Cl^- y NO_3^- son aniones, mientras el Na^+ y el Ag^+ son cationes. De acuerdo con la diferencia de electronegatividades y cargas eléctricas entre ellos, se posibilita que los cationes plata (Ag^+) se unan con los aniones cloro (Cl^-) para formar el precipitado cloruro de plata (AgCl) (s), de igual manera, los aniones nitrato (NO_3^-) y cationes sodio (Na^+) se unen para formar nitrato de sodio en estado acuoso (NaNO_3) (ac). Las sustancias resultantes (productos) son diferentes a los reactivos en su composición submicroscópica y en consecuencia también en sus características macroscópicas.

Reacción química 3: Oscurecimiento del papel fotosensible debido a la oxido-reducción del cloruro de plata.

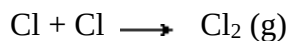
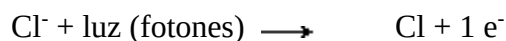
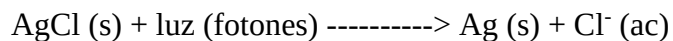
Sub-idea 1. Después de unos minutos de exponer a la luz un papel cubierto con una emulsión fotográfica (cloruro de plata), se produce una reacción química de óxido-reducción observable por el cambio en el color del papel a nivel macroscópico. Este cambio se da gracias a que a nivel submicroscópico el cloruro de plata reacciona con la luz, absorbiendo energía proveniente de ella, esto conlleva a la descomposición del cloruro de plata en partículas de cloro y plata.

Posterior a esto, las partículas de cloro pasan a ser cloro gaseoso, mientras las de plata forman plata metálica. En consecuencia, de lo anterior, los cambios ocurridos en las estructuras submicroscópicas de los reactivos producen un cambio observable en las propiedades macroscópicas de los productos como es el caso de la coloración del papel.

Sub-idea 2. En la reacción de óxido-reducción que ocurre cuando el cloruro de plata (AgCl) se expone a la luz, ocurren cambios a nivel submicroscópico por efecto de la luz (fotones), es decir, las moléculas de cloruro de plata (AgCl) se descomponen en átomos de cloro y plata. Los átomos de Cloro (Cl) se oxidan por efecto de la luz formando moléculas diatómicas en estado gaseoso (Cl₂) y los de Plata (Ag) se reducen, llegando a formar plata metálica (Ag) (s) en estado sólido. El proceso que ocurre en esta reacción se puede resumir y representar a nivel simbólico a través de la siguiente ecuación química.



Sub-idea 3. La reacción química de óxido-reducción que ocurre cuando el cloruro de plata (AgCl) es expuesto a la presencia de la luz, es perceptible a nivel macroscópico cuando el papel cubierto con emulsión fotográfica oscurece su coloración. Esta reacción puede ser representada mediante modelos gráficos y un lenguaje simbólico para facilitar la explicación y representación de la dinámica submicroscópica que le subyace. Es decir, el proceso de interacción entre las moléculas del AgCl y los fotones provenientes de la luz, conlleva al rompimiento de los enlaces entre los átomos que lo constituyen, descomponiéndose en aniones cloro (Cl⁻) y cationes plata (Ag⁺), inmediatamente después los iones cloruro absorben los fotones (energía) provenientes de la luz hasta que sus electrones se excitan a tal punto que uno de ellos es expulsado y es atraído por los cationes plata (Ag⁺), por lo cual estos se reducen formando plata metálica (Ag (s)). Simultáneamente, los átomos de cloro reaccionan entre sí, produciendo moléculas diatómicas de cloro (Cl₂) (g). Este acomodamiento a nivel submicroscópico de átomos, enlaces y electrones de los reactivos permite que se produzcan nuevas sustancias con estructuras y propiedades macroscópicas diferentes a las iniciales como se representa simbólicamente a continuación:



La reacción resumida es la siguiente: $2\text{AgCl (s)} + \text{luz} \text{ -----} > 2\text{Ag (s)} + \text{Cl}_2 (\text{g})$

6.2.1.5.3. La metáfora educativa

Las metáforas se consideran herramientas capaces de facilitar la navegación y el recorrido que un usuario o aprendiz desarrolla al explorar o resolver las actividades de una aplicación o programa educativo (del Moral et al., 2001). Asimismo, la implementación de las metáforas educativas en el MDD ayuda a presentar de forma atractiva la información, ya que son capaces de simular ambientes cercanos a los estudiantes y facilita la estructuración u organización de los contenidos de manera que se pueda contribuir al aprendizaje de los educandos. Además, Rodríguez (2018) resalta que las metáforas buscan fijar un punto de concentración diferente al académico y facilitan que el estudiante se enfoque en aquel ambiente metafórico que ha sido recreado y pensado para guiar al estudiante en el proceso educativo, lo que podría fomentar que el estudiante al estar sumergido en la metáfora se acerque al conocimiento de una manera más fluida.

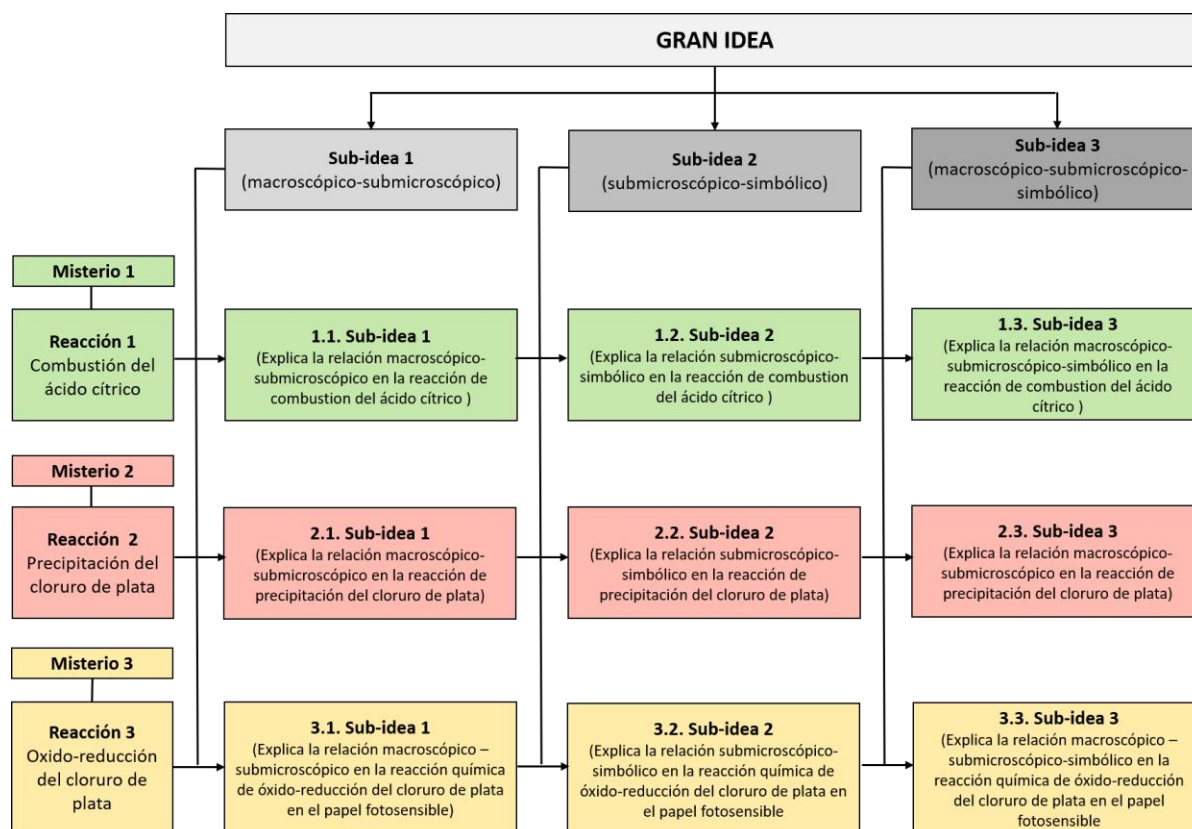
Por tales motivos se ha decidido implementar una metáfora educativa en el diseño del MDD, la cual consiste en simular una aventura misteriosa. Con ella se busca crear un ambiente que resulte interesante y motivador para el estudiante al ubicarlo en la resolución de una serie de misterios, para lo cual debe asumir un rol que lo haga partícipe de un grupo investigativo. De esta manera, la metáfora se enmarca en un castillo que se encuentra abandonado y que está ubicado en una aldea remota. En dicho castillo se ha encontrado un cofre, y dentro de él la fotografía de un vampiro y un mensaje incompleto que ha sido escrito en una hoja de papel. Estos hallazgos han generado en los aldeanos una sensación de angustia pues piensan que está relacionado con un embrujo, lo cual ha creado en ellos una necesidad por saber lo que estos hallazgos representan para la seguridad de la aldea.

En esta metáfora participan cuatro personajes que son: el detective Homberg (cuya labor es resolver misterios), dos jóvenes aldeanos (establecen un diálogo con el detective) y el usuario (asistente del detective). Con esto se pretende que el usuario participe activamente, situándose en el rol de un investigador, pues al aventurarse a explorar el castillo embrujado encontrará en su interior una serie de misterios que deberá ir resolviendo bajo una secuencia de pistas, actividades y preguntas que irán siendo proporcionadas por el detective y los aldeanos, de esta manera, podrá avanzar y llegar al objetivo final que será hallar la relación que existe entre la fotografía del vampiro y el mensaje que aparece en la hoja de papel. Con esto se busca captar constantemente la atención del usuario y promover en él, aspectos como la motivación, la curiosidad, la reflexión, la capacidad de análisis y el interés por investigar e indagar, de manera que, por medio de la metáfora se le facilite incorporar nuevos conceptos y conocimientos a su estructura cognitiva. Además, se pretende que el usuario conciba el aprendizaje de la química como algo divertido e interesante.

Por otro lado, a través de dicha metáfora se logra estructurar el contenido seleccionado (el estudio de tres reacciones químicas y presentación de tres sub-ideas) de manera que permita establecer una relación armónica con los objetivos esperados (el reconocimiento e integración de los niveles de representación de la química) y con la metáfora planteada (resolución de tres misterios). De este modo, la información es presentada bajo una secuencia lógica que va de menor a mayor complejidad, donde, el tercer misterio será el más complejo. Cabe resaltar que, aunque los misterios planteados en la metáfora son distintos entre sí, cada uno se encuentra directamente relacionado con el anterior, además que en cada misterio se han contextualizado unos contenidos específicos. La Figura 6 esquematiza como con la incorporación de la metáfora de misterios se le otorga un contexto al conocimiento científico (niveles de representación de la química-reacciones químicas). En esta propuesta, la reacción de combustión incompleta del ácido cítrico se utiliza para plantear el misterio 1 que corresponde a revelar un mensaje oculto que ha sido escrito con una tinta incolora. En cuanto a la reacción de precipitación del cloruro de plata, se asocia con el misterio 2 que consiste en interpretar el mensaje para poder preparar una sustancia que ha sido utilizada para poder obtener la imagen del vampiro. En último lugar, la reacción de óxido-reducción del cloruro de plata se relaciona con el misterio 3 en el que se deberá utilizar aquella sustancia para poder saber cómo se obtuvo la fotografía del vampiro.

Figura 6.

Esquema de incorporación de la metáfora para contextualizar el conocimiento científico (niveles de representación de la química-reacciones químicas)



Teniendo en cuenta lo planteado por del Moral et al., (2001), y con el propósito de evitar inconvenientes relacionados con la desorientación o desenfoque que se pueden dar en las metáforas de aventura o viaje, se propone que la navegación entre los misterios sea en pro de facilitar su resolución y la comprensión de los contenidos abordados en el MDD. En este sentido, se establece una ruta semi guiada que el usuario debe seguir y cuyo recorrido inicia por el primer misterio (ingreso a la habitación 1), luego de resolverlo, podrá continuar y acceder al segundo misterio (habitación 2), y finalmente se podrá acceder al tercer misterio (habitación 3); sin embargo, la navegación en cada misterio tiene cierto grado de libertad o autonomía por parte del usuario. Finalmente, una vez se hayan resuelto los tres misterios se le posibilitará al usuario la navegación libre por los tres misterios y el acceso a toda la información y a todas las partes del sistema.

Así pues, la metáfora sirve como un hilo conductor del MDD que permite la articulación, continuidad y coherencia entre los misterios y los contenidos, así que con su implementación se espera reducir la carga cognitiva de la navegación y evitar sobrecargar la capacidad de los estudiantes para procesar la información.

6.2.1.5.4. La narrativa y el lenguaje.

Según Orihuela (1997) el término narrativa se suele utilizar para referirse al contenido de una historia, su estilo y la forma de contarla. Desde una visión más general también puede verse como una forma de representación, que cambia de acuerdo con el contexto (cultura, época) (Sánchez-Mesa, 2008, 224) citado por Echeverri Ortíz (2011, p. 13), no obstante, su finalidad dependerá de la intención que hay detrás de la narrativa. En este caso, se ha tomado a la narrativa como un elemento que tiene por objetivo facilitar el aprendizaje, inferir las creencias, y expresar los deseos, valores o actitudes que los estudiantes tengan sobre el proceso a aprender. Esta se desarrolló a través de una historia cuya función es presentar y representar mediante situaciones y personajes los contenidos académicos incorporados dentro del MDD, pero de forma interesante, atractiva y cercana al educando.

El estilo y la forma de la narrativa construida y utilizada en la historia tienen como intención facilitar que el educando sea consciente que existen tres niveles de representación de la química y que reconozca las diferentes relaciones que existen y se establecen entre ellos para analizar y explicar procesos químicos que pueden manifestarse en fenómenos naturales, procesos industriales y en acciones cotidianas. Por lo tanto, la historia y las explicaciones se desarrollan buscando hacerlos conscientes de estos conocimientos. También, la narrativa es utilizada como una estrategia para contextualizar y reducir el nivel de abstracción de esos contenidos, ya que al estar entrelazados con la historia es más fácil de entender, interiorizar, asimilar y asignarle un significado a cada uno de ellos gracias al contexto en el que se presentan y desarrollan.

Dado que la historia y su trama se basa en la investigación de varios misterios, la forma de narrar en general todo lo que está dentro del MDD (las explicaciones e instrucciones) involucra el misterio, el suspenso y ambiente detectivesco, esto con la intención de situar al

usuario en un rol investigativo y despertar el interés de este. Aunque cada uno de los personajes que participan en la trama cumplen una función dentro del grupo investigativo, es el usuario quien toma el rol protagónico y quien en últimas se encargará de resolver los misterios ocultos, mientras que el detective y los aldeanos cumplen con la función de ayudar al usuario proporcionando explicaciones e información necesaria narrada a manera de pistas y preguntas. De esta forma, mientras el usuario está entretenido e inmerso en la historia tratando de descubrir lo que ocurre detrás de cada misterio se le está ayudando a reconocer y articular los niveles de representación.

En sí la historia consiste en la resolución de tres misterios principales relacionados con las pistas halladas dentro del cofre que se encuentra en el castillo abandonado: 1) revelación del mensaje oculto, 2) obtención de la sustancia misteriosa (precipitado), 3) obtención de fotografía utilizando la sustancia obtenida en el misterio 2 y la luz. Durante la narrativa, se les otorga un orden a los misterios, es decir que estos son abordados por etapas. Así, la historia está estructurada pensando en resolver cada misterio de manera secuencial de acuerdo con el nivel de complejidad del contenido (según las reacciones químicas seleccionadas). De modo que, el primer misterio está relacionado con completar el mensaje (reacción química 1); el segundo misterio está vinculado con la interpretación de dicho mensaje (reacción química 2) y el tercer misterio, tiene que ver con lograr saber cómo aquella información del mensaje encontrado se relaciona con la imagen del vampiro (reacción química 3). Además, a medida que se va avanzando en la historia, se van revelando pistas y van surgiendo retos que deben superarse para poder construir las correspondientes explicaciones que permitan comprender lo que se oculta detrás de cada misterio.

En definitiva, la narrativa se convirtió en el hilo conductor y articulador del MDD, ya que logró unir cada elemento que forma parte del MDD y creó una correspondencia entre la metáfora y el contenido.

6.2.2. Fase de diseño técnico del MDD

6.2.2.1. Características del MDD

En primer lugar, el tipo de material que se diseñó en el presente trabajo es un MDD enfocado en trabajar los tres niveles de representación de la química centrándose en el tema de las reacciones químicas, cabe resaltar que la intencionalidad y el objetivo del material es ayudar a que los educandos reconozcan y sean conscientes de que existen tres niveles de representación de la química y que los tres se encuentran relacionados entre sí, asimismo, la orientación pedagógica del material es constructivista y cognitivista y los principales planteamientos pedagógicos que fundamentan al MDD son la cognición situada y la cognición distribuida. Además, como estrategias pedagógicas se han planteado las tres sub-ideas que permitieron estructurar el contenido del material de acuerdo al nivel de complejidad; se ha incorporado la metáfora tipo aventura-misterio que se desarrolla en un castillo y se ha utilizado una narrativa en forma de misterios que permitió la incorporación de retos y recompensas; que en conjunto con todo lo que se ha mencionado contribuyen a la motivación del estudiantado y establecen una guía del proceso de enseñanza-aprendizaje. Otra característica del material es que permite un nivel intermedio de interactividad a los usuarios con los recursos que contiene y dado que dichos recursos son de distintos tipos (videos, animaciones, imágenes, audios, texto, simuladores, etc.) y el formato del material es de tipo multimedia (fue materializado en el programa adobe animate) es posible incluir distintos lenguajes (textuales, icónicos, audiovisuales, gráficos, etc.), lo cual ayuda a potencializar la construcción de conocimientos en estos variados tipos de lenguajes (Area, 2019). Sin embargo, se debe reconocer que la manera en la que se decidió materializar el prototipo de diseño no posibilita una interactividad entre usuario-usuario, es decir, no genera un entorno social y comunicativo que permita conectar a modo de red a todos los usuarios de manera sincrónica.

6.2.2.2. Organización Técnica del MDD

En este apartado se describe principalmente la forma como se encuentra organizado el MDD. La organización del MDD consiste en una secuencia de tres misterios, cada misterio está compuesto por tres fases (Fase de exploración, Fase de desarrollo y Fase de aplicación) y en cada

fase se encuentra distribuido el contenido. A continuación, se describen las fases que conforman a cada misterio. Así mismo, se hablará sobre la narrativa digital incorporada en el diseño del MDD y sus numerosas ventajas. Por último, se describen las Actividades de aprendizaje propuestas para desarrollar en cada fase correspondiente al Misterio 1.

6.2.2.2.1. Fases

El diseño del material se organizó en torno a tres misterios y en cada uno de ellos se aborda una reacción química distinta, de manera que la reacción se convierte en el eje central del misterio, pues cada reacción química es presentada como el fenómeno misterioso que debe ser descubierto o resuelto mediante las actividades que requieren el abordamiento de los diferentes niveles de representación de la química. Cabe resaltar que los misterios están organizados de acuerdo con el nivel de complejidad que representa cada reacción química, es decir que se inicia con una reacción química de menor dificultad hasta abordar la reacción química que implica mayor detalle y profundidad de contenidos. Así pues, en el primer misterio se integra información básica que servirá para entender y facilitar la resolución de los otros misterios, mientras que en los últimos misterios se involucra información cada vez más específica, conceptos cada vez más complejos o elaborados y cálculos matemáticos cada vez más complicados, pero relacionados siempre con la historia y contexto.

A su vez, cada misterio está compuesto por tres fases, las cuales están basadas en las tres sub-ideas que fueron descritas con anterioridad en este documento. Estas fases están apoyadas en los marcos de referencia sugeridos por Arillo et al. (2015) y se basa en algunos de los planteamientos que fueron propuestos en la Tabla 2. De modo que, se aborda el nivel macroscópico desde un enfoque descriptivo y molecular; mientras que el nivel submicroscópico se plantea desde el enfoque atómico-molecular y el cuántico. Teniendo en cuenta esto, a cada fase se le asignó un marco conceptual diferente, iniciando con un marco teórico cercano a los estudiantes para luego llegar a un marco teórico más abstracto y complejo, aumentando así el nivel de complejidad de forma gradual. A continuación, se hace una descripción de cada fase:

Fase de exploración. Corresponde a la fase inicial. Está centrada en el enfoque descriptivo y en el marco conceptual macroscópico de la materia propuesto por Arillo et al. (2015) (véase Tabla 2), por lo que se presta gran atención a la descripción y detalle de lo que se puede percibir a través de los sentidos y se usan términos propios de este nivel como el de sustancias (compuestos y elementos). Además, esta fase está directamente relacionada con el planteamiento de sub-idea 1 (relación entre el nivel macroscópico-submicroscópico), por lo tanto, en esta fase se intenta llevar al estudiante a que piense en lo que ocurre a nivel submicroscópico durante los cambios o fenómenos perceptibles, esto con el objetivo de que el estudiante logre diferenciar y reconocer los conceptos mezcla, sustancias que están compuestas por partículas submicroscópicas denominadas átomos, que se unen entre sí y pueden formar sistemas heterogéneos (compuestos) u homogéneos (elementos), de esta manera, se promueve que el estudiante vaya adquiriendo un lenguaje más formal y cercano al científico. Igualmente, en esta fase se presenta información muy básica y general, tratando de involucrar conceptos cercanos al estudiante, es decir poco complejos y poco abstractos, sobre todo en el primer misterio.

Fase de desarrollo. Corresponde a la fase intermedia. Está directamente relacionada con la sub-idea 2 (relación entre el nivel submicroscópico-simbólico). En esta fase la narrativa y el lenguaje están centrados en el marco conceptual de la teoría atómico-molecular y se utilizan representaciones de modelos de partículas y representaciones simbólicas. Por ende, en esta fase se involucran términos y conceptos propios del lenguaje submicroscópico de la química como átomos, moléculas y iones. Tomando como referencia la propuesta de Arillo et al. (2015), en esta fase se empiezan a utilizar términos más específicos y abstractos, además, se involucra la parte cuantitativa al tener en cuenta las cantidades de los átomos y de las moléculas que se establecen a través de la ecuación química, lo cual es aprovechado para establecer que, aunque durante la reacción química cambia la identidad de las sustancias, se conserva la identidad y cantidad del número de átomos. Por medio de esta fase se trata de propiciar en el estudiante la capacidad de codificar las representaciones de partículas y decodificar símbolos que representan átomos, moléculas, iones, etc.

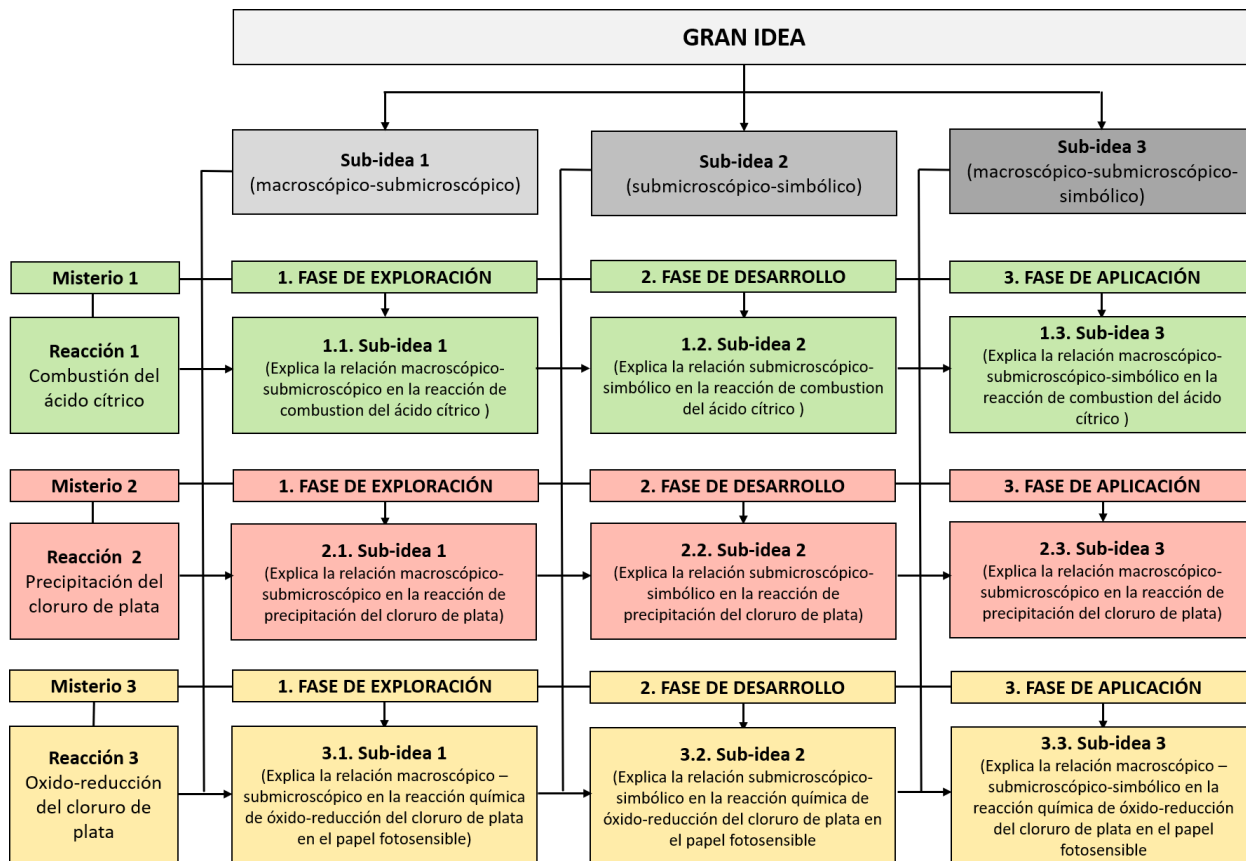
Fase de aplicación. Corresponde a la fase final y está directamente relacionada con la sub-idea 3 (relación nivel macroscópico-submicroscópico y simbólico). Tomando en cuenta la

propuesta que se recoge en las tablas 2 y 3, esta fase implica el uso de términos de la química mucho más abstractos tales como electrones, enlaces, niveles de energía, fotones, y todo lo que tenga que ver con esta escala subatómica. Por ello, en esta fase se tiene en cuenta que existe una interacción entre los electrones que se encuentran en los orbitales más externos de los átomos y que durante las reacciones químicas estos enlaces se rompen de lo que finalmente se obtienen nuevos enlaces atómicos y, por ende, sustancias diferentes de las iniciales. Dado que este marco teórico (cuántico) involucra términos de mayor abstracción y complejidad, durante el primer misterio las explicaciones serán menos profundas que en el misterio 2 y misterio 3, con el propósito de limitar la capacidad que puede tener un estudiante para procesar información y así evitar dificultades que puedan surgir para su comprensión.

Por otro lado, teniendo en cuenta que el MDD se materializa en un formato digital, se accede a los beneficios que este formato puede ofrecer para el desarrollo de la metáfora propuesta y su correspondiente narrativa. Por lo que, en ese caso, se hace uso de otro tipo de narrativa denominada la narrativa digital. Esta puede entenderse como un sistema de lenguajes que integran texto, imagen, animación, video, sonido y que posibilitan la interacción, navegación, comunicación y creación de los datos e información de manera interactiva y colectiva (Belloch, s/f citado por Acosta, 2015, p. 257). La inclusión de diferentes medios de comunicación –auditivo, visual– facilita el aprendizaje, adaptándose en mayor medida a los sujetos, a sus características y capacidades, además pueden potenciar la memoria visual, la comprensión visual, la memoria auditiva, la comprensión oral (Belloch, s/f) citado por Acosta (2015, p. 257). Teniendo en cuenta lo que plantea la narrativa digital y sus numerosas ventajas, se han incorporado al MDD múltiples recursos como imágenes, videos, animaciones que se consideran relevantes para el desarrollo de la narrativa o historia, ya que en conjunto ayudan a representar de manera más completa los contenidos y facilitan la comprensión de los mismos, además posibilitan la asimilación y retención de información, favoreciendo al proceso de anclaje del nuevo conocimiento, que en este caso concreto, es poder establecer relaciones conscientes entre los tres niveles de representación que se utilizan para explicar fenómenos o procesos químicos como son las reacciones químicas.

En la Figura 7 se presenta un esquema de cómo a través de las 3 fases que se desarrollan en cada misterio (metáfora), se logra establecer una relación con la organización jerárquica del contenido (sub-ideas y reacciones químicas). En esta figura se puede observar que con la incorporación de las fases (exploración, desarrollo y aplicación) se logra establecer una correspondencia entre los misterios (que permiten contextualizar cada reacción) y las sub-ideas (reconocimiento y diferenciación de los niveles de representación de la química para explicar cada reacción química seleccionada).

Figura 7. Esquema que representa la relación entre las fases en las que se desarrolla cada misterio (metáfora) y la organización jerárquica del contenido (sub-ideas y reacciones químicas).



6.2.2.2.2. Actividades de aprendizaje

Para el desarrollo del MDD se considera que es fundamental definir las actividades que permitirán contribuir a alcanzar los propósitos educativos que se han planteado.

Teniendo en cuenta que el contenido temático fue jerarquizado de acuerdo con su nivel de complejidad en tres sub-ideas, similarmente se estructuró la manera como sería abordado y evaluado este conocimiento. Para esto, se tomó como base la organización del contenido en tres sub-ideas y con ello se decidió establecer tres fases mediante las cuáles sería posible abordar cada sub-idea de manera paulatina y progresiva: Fase de exploración, fase de desarrollo y fase de aplicación. Así que, cada fase está estructurada con base en lo que se pretende lograr a través de cada sub-idea. A continuación, se detalla la ruta de aprendizaje a través del planteamiento de las actividades para cada una de las fases.

Tabla 8. Actividades propuestas para desarrollar en cada fase correspondiente al Misterio 1.

Reacción química 1. Mecanismo de la reacción de combustión incompleta del ácido cítrico			
Coherencia a través de la metáfora	Misterio 1. ¿Cómo se puede lograr revelar el mensaje oculto? Reto: Recopilar la información necesaria que permita comprender cómo pueden revelar la parte del mensaje que se encuentra oculta a simple vista. Objetivos: Completar el mensaje que está escrito en la hoja de papel que hallaron junto a la fotografía del mensaje. Comprender el mecanismo mediante el cual es posible revelar el mensaje oculto.		
	Coherencia a través de las sub-ideas		
	Sub-idea 1	Sub-idea 2	Sub-idea 3
	Fase de exploración	Fase de desarrollo	Fase de aplicación
Actividades	Actividad 1.1. <i>Práctica instructiva.</i> Elaborar de manera individual un mensaje secreto usando una tinta incolora de zumo de limón. Para esto, se le proporciona la información necesaria en la	Actividad 2.1. <i>Identificación.</i> Responder cuántas partículas de cada producto se forman en la reacción química entre el ácido cítrico y el dióxígeno, teniendo en cuenta la representación simbólica	Actividad 3.1. <i>Identificación.</i> Observar la representación del nivel submicroscópico de la estructura básica de la molécula de celulosa y a partir de lo que se ha estudiado, completar la

	que se detallan los materiales y los pasos a seguir hasta revelar el mensaje. <i>Registro y descripción.</i> Elaborar una tabla para registrar la información que logró percibir a nivel macroscópico durante la experiencia que realizó, identificando los sentidos que fueron utilizados para percibir el cambio. <i>Reflexión.</i> Responder la siguiente pregunta: ¿Qué condiciones consideras que son importantes para que ocurra este cambio? Justifica tu respuesta.	(balanceada) de la reacción. Para esto, el estudiante debe completar los espacios en blanco escribiendo al frente de cada nombre de la sustancia (productos), el número de partículas que se forman al final de la reacción química. <i>Reflexión.</i> Explicar de qué manera se relacionan las letras que simbolizan el estado de agregación de cada sustancia con lo que se logró percibir antes y después de la reacción química (actividad 1.1.) Usar esquemas de partículas (modelo unipartícula) para representar la manera como se agrupan las partículas en cada sustancia.	fórmula química de este compuesto. <i>Ilustración.</i> Esquematizar los electrones y los enlaces que se establecen en la molécula de celulosa (estructura básica) y responder las siguientes preguntas: ¿Cuántos electrones libres tiene la molécula de celulosa? ¿Cuántos enlaces simples posee la molécula de celulosa? ¿Cuántos enlaces dobles posee la molécula de celulosa?
	Actividad 1.2. <i>Verificación.</i> Relacionar la información que está dispuesta en dos columnas. La Columna 1 (SITUACIÓN) corresponde al momento de la experiencia: papel antes de ser intervenido con la tinta, papel intervenido con la tinta (húmedo), papel intervenido con la tinta (seco), papel intervenido con la tinta y acercado a la llama La Columna 2 corresponde a la descripción macroscópica de cada situación. En las opciones se menciona el cambio de color de la tinta/papel, la textura de la tinta/papel y la temperatura del papel.	Actividad 2.2. <i>Verificación.</i> Identificar el número total de átomos de cada elemento antes y después de la reacción química ocurrida entre cada molécula de ácido cítrico y cada molécula de dióxígeno. Para esto se solicita arrastrar hasta unas casillas en blanco las cantidades correspondientes a los coeficientes de la ecuación balanceada de la reacción química entre el ácido cítrico y el dióxígeno. <i>Explicación y proposición.</i> Mediante un trabajo grupal, elaborar un pequeño texto en el que expliquen de qué manera se relaciona el resultado de la actividad	Actividad 3.2. <i>Comparación.</i> Realizar una comparación entre lo ocurrido en la reacción del ácido cítrico y el dióxígeno (combustión incompleta del ácido cítrico) y la reacción entre la celulosa y el dióxígeno (combustión completa de la celulosa). Para esto, se requiere establecer una comparación entre: Sustancias combustibles a nivel simbólico: fórmula química y estructural. Sustancias combustibles a nivel submicroscópico: representación de los átomos y enlaces de cada molécula.

	<i>Reflexión.</i> Hacer uso del conocimiento científico para explicar por qué al cabo de un tiempo de haber usado la tinta de zumo de limón, la zona que corresponde al mensaje se percibe endurecida y más blanca.	anterior con la Ley de la conservación de la materia. Para ello, deben diferenciar entre la relación a nivel macroscópico y a nivel submicroscópico. Proponer y realizar un procedimiento mediante el cual se pueda comprobar esta ley durante una reacción química.	Sustancias combustibles a nivel macroscópico: comportamiento ante el fuego de la llama mientras se estaba revelando el mensaje oculto. ¿Cuál sustancia se quema primero? Proponer una relación entre su estructura molecular (enlaces) y la energía necesaria para iniciar la combustión. Productos a nivel simbólico: fórmula química y estructural. Productos a nivel submicroscópico: representación de los átomos y enlaces de cada molécula. Explicar por qué son más estables las moléculas de dióxido de carbono y agua, a diferencia de las moléculas de dioxígeno.
	Actividad 1.3. <i>Selección múltiple.</i> Escoger entre tres opciones de respuesta la que se considera que se explica mejor desde el nivel submicroscópico la situación expresada en la siguiente pregunta: ¿A qué crees que se debe el cambio macroscópico de coloración que se evidenció en el papel? OPCIÓN A. Se propone un distractor para el concepto de sustancia al sugerir que el cambio ocurre cuando entran en contacto las partículas submicroscópicas de la sustancia ácido cítrico con las partículas de la sustancia papel.	Actividad 2.3. <i>Verificación.</i> Identificar cuáles son los criterios que cambian y cuáles son los que se conservan tanto a nivel macroscópico como a nivel submicroscópico. Para esto, el estudiante debe escoger la opción que se ajuste a cada criterio. <i>Síntesis.</i> Con base en las anteriores tablas en las que se indican los criterios de cambios y de conservación a nivel macroscópico y submicroscópico, crear un esquema (por ej. mapa conceptual, mapa mental) en el que a partir de la ecuación química de la reacción ocurrida entre el	Actividad 3.3. Mediante un trabajo en grupo, elaborar una pequeña presentación a modo de noticiero o periódico, acerca de las implicaciones que tienen el dióxido de carbono y el monóxido de carbono en el medio ambiente y/o salud.

	OPCIÓN B. Se considera correcta y se propone que se llevó a cabo la formación de nuevas estructuras químicas gracias al aporte de energía que provocó que las partículas submicroscópicas del ácido cítrico interactuaran con las de otra sustancia. OPCIÓN C. Se menciona como distractor la posibilidad de que la llama de la vela provocó un cambio en las partículas submicroscópicas del ácido cítrico y por eso se percibieron nuevas características macroscópicas.	ácido cítrico y el dióxígeno se expliquen estos criterios. Incorporar en el esquema las representaciones del nivel submicroscópico y simbólico.	
	Actividad 1.4. <i>Completar las ideas.</i> Ubicar en cada casilla la palabra que permita completar las dos ideas acerca de la relación entre el nivel macroscópico y el submicroscópico para explicar la reacción química que involucra al ácido cítrico. <i>Reflexión.</i> Establecer ciertas conclusiones que permitan explicar por qué el mensaje que fue escrito con una tinta incolora luego pudo observarse de color oscuro. Las conclusiones deben indicar qué proceso ocurrió, nombrar las sustancias que participaron, señalar las condiciones necesarias para que ocurriera el proceso, explicar en qué consiste el proceso ocurrido y describir las manifestaciones macroscópicas más		Actividad 3.4. Crear un video dirigido a los habitantes de la aldea Camiqui explicándoles mediante el uso del conocimiento científico por qué fue posible revelar el mensaje oculto y lo que crees que significa el mensaje que estaba escrito en esa hoja.

	importantes.		
	Obtener medalla. <i>Selección múltiple.</i> Escoger entre cinco opciones de respuesta la que corresponde al nombre de la sustancia y apariencia macroscópica (color) de la sustancia que participa en la reacción química y que hacía parte del zumo de limón. La pregunta que se debe responder es: ¿Cuál fue una de estas sustancias iniciales y qué color tenía?	Obtener medalla. Identificar de qué manera la energía se conserva al final de la reacción. Para esto, el estudiante debe responder las siguientes preguntas: ¿De qué manera se evidencia la conservación de la energía a nivel macroscópico? ¿De qué manera se evidencia la conservación de la energía a nivel submicroscópico?	Obtener medalla. Observar el mensaje completo que se halló en el cofre e identificar el nombre de las sustancias reactivas y el de las sustancias que se pueden obtener como productos. La cantidad de átomos de cada elemento en cada molécula.

6.2.2.3. Planteamiento de la interfaz

6.2.2.3.1. Storytelling

La trama de la historia se desarrolla en un contexto hipotético de una aldea poco conocida y recóndita llamada Camiqui. Cerca de la aldea se encuentra un extraño y antiguo castillo que ha sido abandonado y está lleno de misterios. Los habitantes de la aldea (aldeanos) son bastante supersticiosos y con base en leyendas y creencias populares creen que el castillo está embrujado y afirman que dentro de él se ocultan secretos mágicos que pueden ser determinantes para el bienestar de los aldeanos. Por esta razón, deciden contratar a un investigador muy famoso para que resuelva el misterio, este investigador es conocido como detective Homberg.

Cuando el investigador llega a la aldea se reúne con dos jóvenes aldeanos quienes le brindan información sobre el castillo y el contexto de la situación. Le solicitan que los ayude a resolver esos misterios para tener tranquilidad sobre el devenir de la aldea y sus habitantes. El detective en compañía de los dos jóvenes de la aldea, ingresan al castillo y ahí emprenden su aventura para poder resolver los misterios y cumplir la misión planteada.

Una vez que el detective junto a los dos jóvenes aldeanos ingresa al castillo encuentran en el lobby un cofre en el que pueden encontrar las dos primeras pistas: la fotografía de lo que parece ser un vampiro y una hoja de papel con un mensaje escrito de forma incompleta e inentendible para ellos. A partir de estas dos pistas y con base en lo que se comenta en la aldea, surgen los siguientes interrogantes (retos): 1) ¿Cómo fue posible obtener esa fotografía si dicen que los vampiros no pueden ser capturados a través de una cámara fotográfica y además en esa época no existían aún las cámaras fotográficas?, 2) ¿Cómo se puede completar el mensaje y qué quiere decir?

Además de la fotografía y aquella hoja de papel, los aldeanos y el detective logran encontrar en el lobby más pistas. Ellos observan que existen tres puertas, cada una marcada con un número y una pequeña frase.

PUERTA 1. Si el mensaje completo en el papel quieres observar, un cambio debes provocar.

PUERTA 2. Si la fotografía quieres revelar, primero una sustancia especial debes preparar.

PUERTA 3. Para una imagen capturar, la sustancia especial, la luz y la sombra deberás utilizar.

Al centrar su atención en una de las paredes del lobby, logran visualizar que hay un tablero para colgar tres llaves, pero solo está la "llave 1", mientras que los lugares que corresponden a la "llave 2" y a la "llave 3" están vacíos, por lo que hasta ese momento solo podrán ingresar a la habitación 1 (de esta manera se restringe el ingreso a la habitación 2 y 3). De modo que, en cada una de las habitaciones irán desarrollando cada misterio: 1) revelar el mensaje oculto, 2) Descifrar el código secreto y 3) Saber cómo se obtuvo la imagen.

Al tomar la primera llave, el detective junto a los dos aldeanos logra ingresar a la habitación 1 y con eso inician la aventura (a medida que recorren el castillo de algún modo el usuario, en su rol de asistente, los está acompañando). En ese momento el detective les empieza a ofrecer información para revelar el mensaje secreto y les recuerda que el mensaje que estaba en la puerta de esa habitación decía lo siguiente: *“Si el mensaje completo en el papel quieres*

observar, un cambio debes provocar”. Así que, el detective le sugiere al usuario que es momento de realizar su propio mensaje secreto y para le ofrece información relacionada con tintas invisibles. Teniendo en cuenta esta información, el usuario (asistente) debe ayudar a los jóvenes a describir el papel en el que está escrito aquel mensaje secreto. Para ello, sugiere tres pasos: 1) observar el papel, 2) palpar el papel y 3) acercarlo a una vela encendida. Al realizar el tercer paso, sorprendentemente se empiezan a observar la parte del escrito que hacía falta.

Después de esto, logran observar en la habitación un mapa que está sobre la pared, el cuál sirve para guiar en cada habitación el modo en el que deben ir navegando, es decir, las tres fases: 1) exploración, 2) desarrollo y 3) aplicación. Una vez completadas las fases, podrán descubrir que aquel mensaje secreto y que lograron revelar gracias al calor de una llama, en realidad se trata de una fórmula química y lo siguiente que deben hacer es interpretarla. Así que, hasta este punto, a través de las pistas y las actividades que le proporciona el detective al asistente (al ser resueltas se podrán obtener medallas), el usuario deberá comprender que el misterioso mensaje en realidad no estaba embrujado, solo fue ocultado mediante una técnica que requería de un proceso químico (combustión) para poder ser observado. Finalmente, en esta habitación encuentran una llave que corresponde a la llave de la habitación 2.

En ese sentido, los dos personajes volverán al lobby para poder abrir la puerta de la habitación número 2. Al ingresar a esta habitación encontrarán un laboratorio que se encuentra oculto dentro del castillo, dotado con los instrumentos y las sustancias necesarias para poder llevar a cabo la fórmula misteriosa que descubrieron en el manuscrito. Además, el detective les recuerda la frase que encontraron sobre la puerta de esta habitación: *“Si la fotografía quieres revelar, primero una sustancia especial debes preparar”*.

Así pues, los jóvenes aldeanos debido a su curiosidad deciden con ayuda del detective realizar el procedimiento que se indica en la fórmula misteriosa. Durante el desarrollo de este procedimiento (la práctica experimental) jóvenes, gracias a su habilidad de observación, se percatarán de un extraño fenómeno que ocurre, inicialmente, desaparecen unas sustancias al mezclarse con agua, obteniendo así dos soluciones transparentes. Luego evidenciarán otro extraño fenómeno al mezclar ambas soluciones incoloras, y se asombrarán al observar que la

mezcla resultante cambia de color y se asienta en el fondo del recipiente. Luego de ese extraño e interesante fenómeno. En este punto, el usuario deberá navegar por cada fase y así, podrá comprender lo que ha ocurrido y podrá crear explicaciones usando términos que ha aprendido con la ayuda del detective.

Finalmente, con esta información podrá determinar de qué sustancias se tratan y podrá explicarles a los jóvenes aldeanos que no se trata de pócimas mágicas sino de una reacción química. Asimismo, con la ayuda del detective, el usuario procederá a descifrar la fórmula misteriosa para articularlo con el fenómeno observado. Al finalizar este misterio encontrarán una tercera llave que les permitirá acceder a la tercera habitación.

Al abrir la tercera puerta, los dos personajes encontrarán un cuarto con una luz muy tenue lleno de imágenes extrañas que parecen fotografías muy antiguas (imágenes de un vampiro), lo cual es muy extraño ya que anteriormente no existían las cámaras fotográficas. Dentro del cuarto encontrarán un libro muy viejo abierto por la mitad, los aldeanos llevados por su curiosidad procederán a leerlo junto con el detective, por lo cual podrán observar que allí se encuentran unas instrucciones de lo que al parecer son los pasos para preparar un hechizo.

Con ayuda del detective, los jóvenes realizarán todos los pasos e instrucciones logrando obtener al final una sustancia (emulsión fotográfica). Esta sustancia deberán ponerla en contacto con la sustancia que obtuvieron en la habitación 2 (precipitado). Luego, deberán poner esta emulsión sobre un papel y, sobre la emulsión deberán poner algunas figuras tal y como lo indica el libro. Posteriormente, deberán encender una luminosa lámpara y exponer a la luz el papel con la emulsión fotográfica. Al cabo de unos minutos tanto los aldeanos como el asistente (usuario) podrán notar que se produce un extraño fenómeno en el que las partes del papel expuesto a la luz se oscurecen mientras que las partes no expuestas permanecen del mismo color; sumado a esto, al retirar las figuras y objetos del papel, sus siluetas e imágenes quedan plasmadas en el papel como una fotografía a blanco y negro.

Luego de este misterioso experimento artístico el detective le proporciona algunas pistas al ayudante para facilitar la comprensión de lo que ha ocurrido. Finalmente, el detective le pide que divulgue a su comunidad lo que ha descubierto, por el medio que escoja.

Cabe resaltar que en los tres misterios se pretende relacionar los niveles de representación, tal como se plantea en las sub-ideas asignadas a cada misterio.

6.2.2.3.2. Personajes

Para el diseño y desarrollo del MDD se plantea una historia en la cual interactúan cuatro personajes para resolver los misterios de un castillo abandonado del que se sospecha que está embrujado.

El primer personaje es un detective llamado Homberg, quien se dedica a resolver misterios de esta naturaleza. Este se caracteriza por tener un pensamiento crítico y científico. Homberg se encargará de ayudar al usuario a descubrir y entender los misterios, proporcionando pistas.

Existen dos jóvenes habitantes de la aldea donde se desarrolla el misterio, pero que, a diferencia de los otros aldeanos, son de personalidad curiosa y de pensamiento más crítico, y reflexivo, además de esto, cuenta con habilidades como la observación y tienen cierta capacidad para analizar y deducir información, por lo que establecerán diálogos con el detective. Son dos personajes interesados en entender lo que ocurre a su alrededor y poder aportar una explicación o solución a lo que está ocurriendo en su comunidad.

El cuarto personaje corresponde al usuario, quien dentro de la investigación asume un rol de asistente. Cabe destacar que el asistente (usuario) es considerado el personaje más importante en este proceso, porque representa al aprendiz o constructor de conocimientos, ya que es él quien debe entender las situaciones y el por qué ocurren ciertos fenómenos (con ayuda de actividades y pistas proporcionadas por el detective) para poder resolver los misterios que serán explicados y divulgados a las personas de la aldea Camiqui.

Tabla 9. *Presentación de los personajes del MDD*

Personaje	Descripción	Rol
Detective Homberg 	Es un famoso detective al que han acudido para resolver los misterios que rodean al castillo. Se caracteriza por tener un pensamiento crítico, lógico y científico. Tiene una personalidad amable y cercana con las personas.	Guiar al usuario hacia el análisis, comprensión y resolución de los misterios (que involucra pistas y actividades) mediante información presentada de forma expositiva, explicativa, propositiva e interrogativa)
Aldeano 	Es un joven que acompañará al detective Homberg en la resolución de los misterios que tienen asustados a todos los habitantes de la aldea Camiqui. Es de personalidad intuitiva y curiosa que, a pesar de sentirse asustado por lo que ha escuchado acerca del castillo, se siente muy emocionado por iniciar la investigación y así poder aclarar sus dudas.	Realizar preguntas a medida que va avanzando la investigación a través de la cuales se evidencia su curiosidad y su intuición. También en ciertos momentos ofrece información de forma descriptiva y aclaratoria. Interactúa con los otros personajes.
Aldeana 	Es una joven de personalidad muy curiosa que se siente muy interesada en los casos de misterios y le apasiona la ciencia. Su personalidad es menos asustadiza que la de su joven amigo de la aldea y acompañará a los otros personajes a resolver los misterios.	
Asistente	Corresponde al usuario, quien mediante un proceso de análisis de la información proporcionada y la resolución de algunas actividades se convierte en el personaje principal, pues sus aportes ayudarán a ir resolviendo los misterios y cerrar el caso. De manera que, el usuario representa a un constructor de conocimientos, ya que, es él quien, mediante la resolución de las actividades y recolección de pistas, debe entender las situaciones y el por qué ocurren ciertos fenómenos, ayudando así a resolver los misterios relacionados con los	Ayudante en el proceso de investigación de los misterios que se encuentran en el castillo. Su misión es recopilar la información que va hallando el detective junto a los jóvenes aldeanos y, luego, mediante un proceso de análisis y reflexión acerca de esa información, será la persona encargada de

	hallazgos al interior del castillo	explicarle a los aldeanos, haciendo uso del conocimiento científico, los misterios que se ocultaban en el castillo.
--	------------------------------------	---

6.2.2.3.3. Escenarios

El lugar donde se desarrolla toda la trama e historia hipotéticamente es en una aldea llamada Camiqui, en un área rural alejada del contexto urbano. En dicha aldea se encuentra ubicado un antiguo castillo de apariencia descuidada y lúgubre, por lo que se genera cierto temor en los habitantes del lugar.

El primer escenario por describir es el exterior del castillo, el cual está ambientado en la noche, con poca iluminación y es donde se presenta de manera breve la misión que se le encomienda al detective. Este escenario es donde el detective se encuentra con los jóvenes de la aldea quienes le hablan sobre el misterioso castillo y le solicitan poder descubrir los misterios que se ocultan en su interior. Igualmente, es en este escenario donde el detective le propone al usuario que lo acompañe a aventurarse dentro del castillo como su ayudante y guía.

El segundo escenario que encontrará el usuario es “El lobby del castillo”. Este espacio se trata de una sala que se encuentra al cruzar la puerta de entrada del castillo. Está ambientado con algunos objetos antiguos (ventana, cortinas, telarañas, candelabros, jarrones, cofre). Además de esto, en este lugar se encuentran tres puertas numeradas en orden de 1 a 3, sobre cada una de ellas reposa un letrero con una frase muy particular, que invita a la realización de ciertas acciones (relacionadas con cada misterio).

También, en una de las paredes se encuentra un tablero con los números 1, 2 y 3 y sobre el que reposa una llave colgada, justo debajo del número 1, así que en este momento el ingreso a la habitación 2 y 3 está restringido. No obstante, para poder acceder a las puertas 2 y 3, el usuario deberá poseer las llaves correspondientes las cuales obtendrá al final de cada reto propuesto en la habitación 1 y en la habitación 2. Así, cada que el usuario termine de resolver un misterio deberá volver a este escenario para que con la llave que ha obtenido pueda acceder a las siguientes

habitaciones y descubrir lo que hay en ellas. Por otro lado, la representación de los tres retos en forma de tres puertas que conllevan a situaciones misteriosas y escenarios desconocidos, tienen como intención fomentar la curiosidad y motivación en el estudiante, pues esto podría hacer que el usuario se pregunte e imagine que encontrará detrás de cada puerta, lo cual podría motivarlo a descubrir todos los misterios o retos.

Una vez el equipo (detective, aldeanos y asistente) puedan abrir la puerta 1, encontrarán el tercer escenario llamado “La habitación 1”, aquí se abordará el *misterio 1: revelar el mensaje oculto*. En este escenario, los personajes encontrarán la información necesaria para resolver el primer misterio, por ende, se lo ha ambientado en forma de una habitación, con paredes de ladrillo bajo una iluminación tenue, donde se pueden observar pocos objetos (antorchas, telarañas, mesas, repisas con libros y frascos). También se encuentra la puerta con el letrero salida. Además, en la pared se observa un mapa (mapa de navegación entre el misterio). Además, según el desarrollo de la historia, en esta habitación se podrá observar cómo al utilizar una vela encendida, el mensaje que estaba oculto se empezará a revelar.

Un punto para tener en cuenta es que, a medida que el usuario explore el mapa de navegación se podrá acceder a cada fase, las cuales siguen estando ambientadas en la misma habitación, solo que se le agrega un tablero en el que se ofrece la información de acuerdo con cada fase. De modo que, lo que realmente cambia, es la adición de algunos botones (opciones según las actividades).

Al final cuando el usuario logre resolver el misterio 1 encontrará también en este escenario (habitación 1) una llave oculta, la cual le permitirá acceder o abrir la puerta 2 y conocer el segundo misterio que será desarrollada en la habitación 2.

Después de esto, el cuarto escenario al que podrán acceder será la habitación 2, la cual corresponde a un laboratorio del castillo, el cual está ambientado con luz tenue, telarañas, puerta de salida, frascos, recipientes e instrumentos apropiados para poder mezclar sustancias y así poder llevar a cabo el procedimiento que se propone para resolver el segundo misterio. También se puede observar el mapa de navegación sobre la pared y a medida que el usuario explore el mapa podrá acceder a cada fase, las cuales siguen estando ambientadas en la habitación 2, y la

información aparece sobre un tablero. De modo que, lo que realmente cambia, es la adición de algunos botones (opciones según las actividades).

Cuando se logre resolver el misterio 2 aparecerá una llave que estaba oculta con la que se puede abrir la puerta 3 en ingresar a la siguiente habitación para conocer y resolver el tercer misterio.

Cuando regresen al lobby y puedan abrir la puerta 3, podrán acceder a la habitación 3. Esta habitación está ambientada igualmente con luz tenue en tonalidad rojiza, telarañas, puerta de salida, libros, frascos, instrumentos para mezclar, lámpara luminosa. Sobre las paredes de ladrillos encontrarán imágenes que parecen fotografías muy antiguas, además encontrarán un libro abierto de aspecto envejecido. También se puede observar el mapa de navegación sobre la pared y a medida que el usuario explore el mapa podrá acceder a cada fase, las cuales siguen estando ambientadas en la habitación 3, y la información aparece sobre un tablero. De modo que, lo que realmente cambia, es la adición de algunos botones (opciones según las actividades).

6.2.2.4. Tipo de navegación

Dentro del MDD el lugar donde transcurren los hechos y donde se desarrolla toda la trama e historia es dentro de una gran zona, la cual se divide en cinco zonas más pequeñas que cumplen con distintas funciones, las cuales se describen a continuación:

Zona 1: Zona de concertación. Esta se desarrolla en el exterior del castillo. La intención y función de esta zona es introducir al usuario en la historia, contextualizarlo, proporcionarle información sobre el castillo y contarle en qué consiste la situación problema que afecta a los aldeanos de Camiqui, para luego contarle en qué consistirá su misión para ayudar a solucionar la problemática. Luego de la presentación de la misión, el detective propone ingresar al castillo, lo cual en realidad será activado por el usuario. Al entrar en este se encontrarán con la segunda zona.

Zona 2: Selección del misterio. Ocurre en el escenario del lobby del castillo. Esta zona puede considerarse como una especie de menú ya que su función, tal como su nombre lo indica, es presentarle al usuario tres opciones representadas mediante tres puertas que conducirán a

habitaciones diferentes. Cada opción al ser clickeada conlleva a un misterio/reto, y a medida que el usuario vaya resolviéndolos, podrá avanzar en la historia.

Zona 3: Misterio 1: el mensaje oculto. Se desarrolla en el escenario de “la habitación 1”. En esta zona se desarrollará el primer misterio que se basa en la reacción química de la combustión del ácido cítrico. Para llevar a cabo esto, se ha dividido esta zona en 3 fases, en la primera fase se trabaja la reacción desde la relación entre los niveles macroscópico y submicroscópico (fase de exploración), en la segunda fase se trabaja la reacción desde la relación entre los niveles submicroscópico y simbólico (fase de desarrollo), y en la tercera fase se trabaja la reacción desde la relación entre los tres niveles (fase de aplicación), cabe resaltar que esta zona se caracteriza por incorporar actividades y recursos que buscan ayudar y facilitar que el estudiante reconozca los tres niveles de representación y a su vez vaya estableciendo relaciones entre ellos, no obstante el nivel de dificultad y profundidad de esta zona es bajo y tanto el lenguaje como la narrativa que se utiliza en esta zona tienden a ser muy cercanas y acordes al estudiante. Así que en esta zona se trabajarán conocimientos y conceptos básicos que serán de utilidad para resolver los siguientes retos que se plantean en las otras dos zonas siguientes. En este punto cabe resaltar que aquellas zonas se quedaron en fase de diseño y no fueron materializadas.

La navegabilidad representa un punto fundamental dentro del diseño del MDD, que determina en gran medida las rutas de aprendizaje a las cuales pueden acceder los estudiantes mediante la interacción con los contenidos del material digital, además condiciona su organización y la posible visualización y acceso a la información por parte de los usuarios. En síntesis, el tipo de navegabilidad facilita y permite el desplazamiento de los usuarios por los diferentes nodos y zonas del material, el acceso a los contenidos presentes en los nodos, facilitando así la usabilidad del material y la accesibilidad al contenido entre las diferentes secciones dentro del material. Por tanto, a través de ella se pone en escena una propuesta pedagógica en relación con el proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes, la cual es pensada bajo criterios disciplinares, pedagógicos y tecnológicos, para que el usuario pueda relacionarse con la metáfora planteada y, de manera implícita, con los contenidos seleccionados y con los objetivos de aprendizaje que se pretenden alcanzar. Para esta puesta en escena se debe

pensar en la manera como el usuario se acerca al material didáctico digital, es decir, en la estética del ambiente, en el tipo de interacción y en la navegabilidad proporcionada al usuario.

Aunque existen varios tipos de navegabilidad (sistemática, lineal, jerárquica, abierta, estructural, etc.), se considera que, de acuerdo con los propósitos del material, a las condiciones del contenido que se aborda y según las condiciones técnicas de las que se disponen para su materialización, se decidió que la navegabilidad que más se adapta al diseño del material es la de tipo estructural. Esta consiste en que el usuario solo podrá navegar respetando la estructura que los diseñadores han previsto para el material, que en nuestro caso se refleja en las fases que se presentaron previamente.

En esta propuesta se le permitirá al usuario desplazarse entre los nodos que conforman cada zona, esto de acuerdo con ciertas libertades y algunos condicionantes que serán determinadas (en algunos momentos) de acuerdo con las decisiones que expresan los usuarios ante las situaciones o retos que se establecen en el material para la construcción del conocimiento. En ese caso, la navegación no será meramente lineal, sin embargo, tampoco será totalmente libre dado que está condicionada por factores de las situaciones educativas planteadas. Los estudiantes podrán desplazarse entre los nodos próximos o relacionados (fase de exploración, desarrollo y aplicación), pero no entre las zonas que corresponden al misterio 1, al misterio 2 y al misterio 3, sino hasta que haya completado y logrado los objetivos previstos en cada fase del material (determinada por el hallazgo de las llaves 2 y 3). Cabe resaltar que el desplazamiento de un nodo a otro es posible gracias a la utilización de botones y se decide de acuerdo con las respuestas que del estudiante como respuesta a las distintas opciones que presenta el material para limitar la dirección de desplazamiento, esto se hace con la intención de incidir durante el proceso de construcción del conocimiento que está siendo llevado a cabo por el usuario.

Aunque dentro del prototipo que se ha materializado no se ha implementado una navegabilidad que permita desarrollar la interactividad entre usuario-usuario directamente en el material digital, se le ha otorgado un nivel intermedio de interactividad a los usuarios con los materiales y recursos que contiene el MDD (animaciones interactivas, videos, actividades de

seleccionar, se incluyen retroalimentaciones y ayudas en formas de pista según las acciones que realice el usuario).

En el diseño de este MDD, un aspecto que se considera fundamental y que condiciona a los otros es la narrativa o historia que se desarrolla en el recurso digital y de acuerdo con ella se establecen los aspectos técnicos de la navegabilidad en función de las consideraciones pedagógicas, que, en palabras sencillas, lo que se pretende es que los usuarios logren relacionar de manera progresiva los tres niveles de representación de la química. Esta construcción progresiva del conocimiento sería muy difícil de lograr si se contara con una navegabilidad abierta o libre, en la cual el estudiante por su inexperiencia podría llegar a confundirse o perderse en el material, afectando de esta manera el alcance de los propósitos educativos planteados. Sin embargo, esta navegación libre se activa una vez el estudiante haya recorrido las fases o la totalidad del material.

6.2.3. Fase de materialización del prototipo en formato digital

En esta fase se llevó a cabo el desarrollo tecnológico del material didáctico digital diseñada para facilitar la integración de los tres niveles de representación de la química por parte de los estudiantes. Sin embargo, debido a diversas limitaciones presentes en el desarrollo de la experiencia investigativa y las exigencias de los tiempos académicos, solamente se materializó un prototipo consistente en el desarrollo del primero de los tres misterios.

Dentro de estas limitaciones se encuentran:

a) el acceso a un programa con las características técnicas necesarias para dicha materialización del material y que contará con la licencia legal activa;

b) las exigencias de formación tecnológica que requería tener el desarrollador del material (docente en formación inicial) que se derivaron de la selección de este programa informático que exige conocimientos avanzados de programación;

c) la poca disponibilidad y acceso de un equipo de cómputo que tuviera las características técnicas mínimas en un proceso de aislamiento social, educación virtual y cierre de las instalaciones del campus universitario;

d) la propuesta formulada en sí misma, la cual fue un tanto desbordada en aspiraciones de acuerdo con el tiempo disponible para los procesos académicos universitarios del nivel de pregrado (dos semestres normales).

En virtud de lo anterior y para no romper estas aspiraciones, dentro de una secuencia de tres misterios se seleccionó el primero de ellos para desarrollar un prototipo del material didáctico digital, el cual se espera culminar en otros procesos académicos.

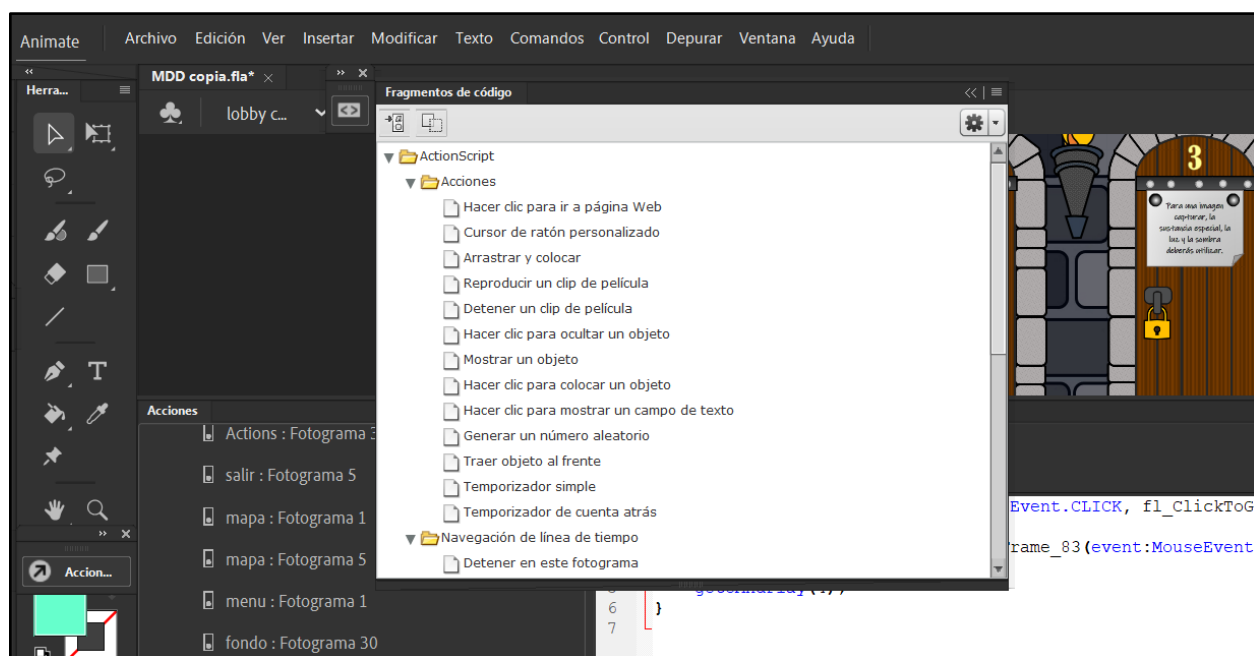
6.2.3.1. Aspectos técnicos para el desarrollo del material didáctico digital

El material fue realizado en el programa Adobe Animate CC 2021, versión 21.0.7 (conocido antes como Flash), el cual sirve para la creación y manipulación de animaciones, gráficos vectoriales, contenido multimedia interactivo, aplicaciones, juegos, etc. El mecanismo de esta aplicación mediante el cual se pueden realizar este tipo de contenidos consiste en la conocida línea cronológica o también llamada línea de tiempo, la cual puede componerse por capas y fotogramas (uno o varios, según lo determine el usuario), de forma que, en cada fotograma se pueden adicionar nuevos elementos u objetos, cambiar de lugar y aspecto dichos objetos incorporados en fotogramas anteriores, programar instrucciones u órdenes que pueden dar lugar a interacciones entre los objetos y el usuario, entre otras opciones. Para programar dentro de Adobe Animate CC se utiliza el lenguaje de programación JavaScript, específicamente el paquete CreateJS (una serie de herramientas de código abierto que permite crear contenido interactivo, perteneciente a la biblioteca de JavaScript), en consecuencia, el producto o contenido creado puede ser exportado en varios formatos, como, por ejemplo: HTML5 Canvas, WebGL, Flash (.SWF), AIR, vídeo y plataformas como SVG. En síntesis, Animate es un software que permite crear y manipular diferentes tipos de contenido multimedia trabajando sobre fotogramas (Adobe Animate CC, 2021).

A pesar de que el programa es muy completo y posee numerosas ventajas como incorporar sonidos, crear enlaces a páginas web, hacer animaciones y todo tipo de contenidos

interactivos, entre muchas más; también presenta algunas limitaciones o exigencias como por ejemplo: a) el autor o desarrollador debe poseer conocimientos técnicos intermedios o elevados para poder manipularlo, ya que, aunque el programa tiene una biblioteca de fragmentos de código (véase Figura 8) para asignar a los botones para realizar determinadas acciones programadas previamente, estos son los considerados básicos y si el autor desea o el material a desarrollar requiere acciones más complejas, lo cual lleva a que este programa no se considere tan sencillo de manejar, pues debido a su sofisticación, interface, símbolos, botones, vocabulario y su amplio conjunto de herramientas requiere de ciertos conocimientos para poder manipularlo adecuadamente y lograr desarrollar el contenido multimedia que se desee, tanto así que, es necesario también contar con conocimientos y competencias sobre programación como el lenguaje de JavaScript y el paquete CreateJS, lo cual es fundamental en pro de dar órdenes e instrucciones novedosas dentro del programa que permitirán materializar el producto animado con las características deseadas por el usuario.

Figura 8. Ejemplificación de la biblioteca de fragmentos de código disponibles en Adobe Animate CC.



b) Una segunda característica que se puede considerar limitante para su amplio uso consiste en los requisitos técnicos o la alta configuración técnica con que debe contar el sistema o equipo que se va a usar para ejecutar el programa, por ejemplo el equipo debe poseer un Procesador Intel

Pentium 4 o Intel Centrino, Intel Xeon o Intel Core Duo (o compatible), además el procesador debe ser mínimo de 2 GHz o más rápido, una memoria RAM igual o superior a 8Gb, sistema operativo Windows 10, espacio en el disco duro de mínimo 4 GB, entre otras (Adobe Animate CC, 2021). c) Una tercera característica limitante es su carácter comercial lo que limita el acceso a sus diferentes versiones, sin embargo, esta limitación se pudo superar debido a que la universidad del valle contaba con licencias educativas, una de las cuales fue utilizada para el desarrollo de este prototipo. d) una cuarta característica limitante es que su capacidad de publicación en el internet se ha visto afectada por las nuevas limitaciones sobre los archivos SWF (flash), lo cual es parcialmente superado a través de la exportación de los documentos producidos en formato html5 y su posterior publicación a través de otros programas.

Otro programa utilizado para el desarrollo de recursos para el material es Genially, el cual sirve para crear y producir contenido multimedia de carácter interactivo de forma gratuita (diapositivas, tarjetas, imágenes interactivas, juegos, videos y mucho más) una de las cualidades de esta herramienta es que se encuentra en línea, por ende no es necesario descargarlo ni adquirir alguna licencia, solamente se debe contar con acceso a internet para poder utilizarlo y editar en él, así mismo no es necesario tener conocimientos de programación ni tampoco de diseño ya que el programa no requiere de estos conocimientos para poder utilizarlo, otra característica de Genially es que posibilita incorporar varios recursos al tiempo como por ejemplo videos, audio, imágenes, texto, etc. (Genially, 2022).

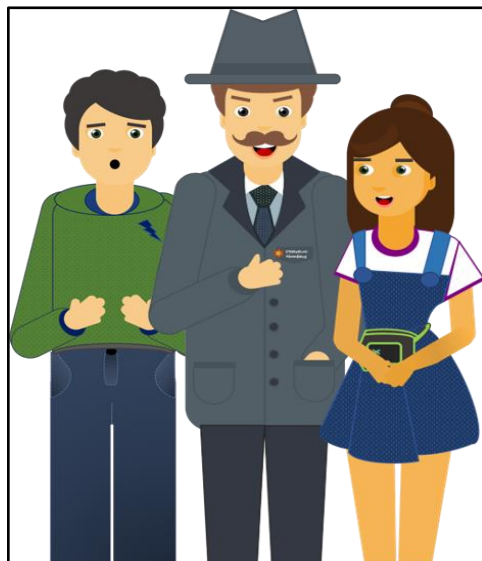
A causa de las numerosas ventajas de esta herramienta (principalmente su facilidad para crear y editar contenido interactivo) se decidió utilizarla para crear una parte del material que consistió en tres presentaciones interactivas que sirven de complementos para brindar información adicional sobre aspectos relacionados con el primer misterio, las tintas incolores y los signos y símbolos químicos que generalmente se utilizan en las ecuaciones químicas (por ejemplo el símbolo que representa el calor).

6.2.3.2. Resultados de materialización del prototipo del MDD

En este apartado se encuentran las representaciones graficas de los Personajes y de los escenarios donde transcurre la historia, es decir se muestran los resultados mediante imágenes de la parte del prototipo del MDD que se materializo.

Personajes

Figura 9. Personajes del MDD. El detective Homberg, acompañado del aldeano y la aldeana de Camiqui



Escenarios

Figura 10. Zona de concertación. Ambientación del exterior del castillo, donde los dos jóvenes aldeanos le solicitan ayuda al detective Homberg



Figura 11. Zona de selección del misterio. Ambientación del lobby del castillo donde se establece el orden para resolver los misterios.



Figura 12. Zona de misterio 1: el mensaje oculto. Ambientación de la habitación 1



Figura 13. Ambientación de otro espacio de la Habitación 1, aquí se presenta el mapa de navegación entre fases.



A continuación, se adjunta el enlace para acceder al prototipo del MDD:

https://drive.google.com/drive/folders/1FnWntWF_od0c4COJNY6FqndZ1a_YzHZB?usp=sharing

7. CONCLUSIONES

El objetivo principal del presente trabajo fue diseñar un Material Didáctico Digital (MDD) que permitiera el reconocimiento y la integración de los niveles de representación de la química en el eje temático de las reacciones químicas. Del proceso experimentado al desarrollar dicha propuesta, se obtuvieron diversas conclusiones que giran en torno a la problemática planteada, a las bases teóricas que guiaron el trabajo, a la metodología que fue utilizada y al producto final, todo lo anterior se considera que puede llegar a ser un aporte para guiar el proceso de aprendizaje de la química en la medida que la propuesta se planteó buscando facilitar en los estudiantes su capacidad para relacionar las experiencias que pueden percibir y que influyen en su vida cotidiana, con el gran conjunto de conocimientos que aporta la ciencia a través de la química para contribuir al entendimiento del comportamiento del mundo natural. Al mismo tiempo, se considera que el desarrollo de esta propuesta genera aportes al proceso de enseñanza, ya que para el diseño de materiales didácticos se requiere poder seleccionar, crear y gestionar los contenidos de modo que adquieran pertinencia para el ámbito educativo.

Durante la planeación del MDD quedó evidenciado que los niveles de representación de la química constituyen un eje central y articulador del proceso de enseñanza y aprendizaje de la química, ya que al lograr diferenciarlos y establecer claras conexiones entre ellos, permite abarcar un gran conjunto de conocimientos que se pueden traducir en un aprendizaje comprendido y con mayor significado, caso contrario a lo que ocurre cuando no se establecen diferenciaciones y relaciones conscientes entre estos niveles, pues según lo que han revelado varios autores en sus investigaciones, la desarticulación entre estos niveles promueve un aprendizaje confuso y desconectado de la realidad y del interés de los estudiantes.

Ante esto, los docentes en ejercicio y los docentes en formación deben pensar en el tipo de metodologías y herramientas de enseñanza que sean pertinentes para representar y organizar de manera integrada el nivel macroscópico, el nivel submicroscópico y el nivel simbólico del conocimiento químico. Por lo tanto, exige por parte del docente asumir un rol reflexivo y creativo para tomar decisiones que permitan superar las dificultades que se suelen presentar tanto en la enseñanza como en el aprendizaje.

En este sentido, atendiendo a las recomendaciones de autores como Mahaffy y Talanquer, quienes consideran la contextualización como un elemento fundamental a tener en cuenta para el diseño de materiales educativos con carácter articulador entre los niveles de representación de la química, se recurrió a la implementación de una metáfora educativa y su correspondiente narrativa como una estrategia de diseño capaz de aportar un carácter atractivo y coherente a la organización del contenido y al establecimiento de la ruta de aprendizaje. Igualmente, se recurrió a estructurar el contenido en una Gran idea, la cual fue descompuesta y jerarquizada en tres sub-ideas, ya que esta descomposición del contenido favorece que la comprensión y el abordaje del conjunto de conocimientos seleccionados sea, en un principio, realizado de manera gradual para luego ser retomado y permitir el afianzamiento y apropiación del conocimiento que se desea construir.

Por otra parte, pensando en la posibilidad de favorecer la integralidad del conocimiento y en la necesidad de representar los contenidos de naturaleza abstracta a los que se recurre durante el estudio del comportamiento de la materia a través de la química, se decidió incorporar al diseño del material didáctico un componente digital, ya que las TIC además de su alto potencial multi-representacional ofrecen la capacidad de compactar una gran cantidad de información de manera atrayente e hipertextual.

En cuanto al producto final, el proceso de materialización en formato digital del prototipo del MDD significó el proceso más intrincado, pues exige por parte del docente/diseñador varios conocimientos, habilidades y atención al detalle para lograr que el material realizado sea visualmente estético, que su contenido sea estructurado bajo una línea de continuidad que introduzca al usuario/estudiante en la metáfora del material de modo tal que le permita apropiarse de su proceso de aprendizaje de manera organizada, progresiva y entretenida.

Sin lugar a duda, los MDD se han convertido en una potente herramienta para generar contenidos integradores de manera más dinámica gracias al uso de imágenes, sonidos, la navegabilidad hipertextual e interactiva, los cuales inciden positivamente en la manera en la que los estudiantes pueden percibir los contenidos y el aprendizaje de la química. Por otro lado, el diseño de materiales digitales enriquece la labor docente ya que exige por parte del docente repensar la manera en la que debe presentar los contenidos para cumplir con las expectativas de

las nuevas generaciones de la era digital. Sin embargo, se hace necesario que durante la formación de los futuros docentes se ahonde más en conocimientos acerca de programación computacional que le permitan explorar y ampliar sus capacidades en el diseño para la digitalización de los materiales didácticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acero Arias, J. D. (2016). **Relación del esquema de la proporcionalidad y la gran idea de la estequiometría**. Disponible en <http://hdl.handle.net/10893/9398>
- Acosta, A. H. (2015). **Narrativas digitales como didácticas y estrategias de aprendizaje en los procesos de asimilación y retención del conocimiento**. *Sophía*, (19), 253-270.
- Adobe Animate CC. (23 de diciembre de 2021). Preguntas frecuentes de Animate. <https://helpx.adobe.com/es/animate/faq.html>
- Agencia Informativa Conacyt. (11 de diciembre de 2018). *Plata y luz: la química en la fotografía*. Cienciamx. <http://www.cienciamx.com/index.php/ciencia/quimica/23586-plata-luz-quimica-fotografia>
- Ainsworth, S. (2006). **DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations**. *Learning and instruction*, 16(3), 183-198.
- Amestoy de Sánchez, M. (2002). **La investigación sobre el desarrollo y la enseñanza de las habilidades de pensamiento**. *Revista electrónica de investigación educativa*, 4(1), 01-32.
- Area Moreira, M. (2019). **Guía para la producción y uso de materiales didácticos digitales: recomendaciones de buenas prácticas para productores, profesorado y familias**.
- Area, M., & Marzal, M. A. (2016). **Entre libros y pantallas**. *Las bibliotecas escolares ante el desafío digital*. *Profesorado*, 20(1), 227-242.

- Area, M., González, C., & Mora, C. (2015). **Beyond textbooks: educational digital texts and gamification of learning materials.** *Digital Textbooks. What's new.*
- Arillo, M. Á., del Pozo, R. M., & Puig, P. M. (2015). **Talleres para enseñar Química en Primaria.** Universidad Complutense de Madrid.
- Benarroch, A. B. (2000). **El desarrollo cognoscitivo de los estudiantes en el área de la naturaleza corpuscular de la materia.** *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 235-246.
- Betancourth Lerma, L. J. (2018). **Diseño de un material de enseñanza en formato digital con coherencia intracurricular: el caso de los ciclos biogeoquímicos** (Doctoral dissertation).
- Candela Rodríguez, B. F. (2016). **El diseño de la “ReCo”: una estrategia para iniciar la identificación, la explicitación y el desarrollo del CPC de un tópico de la química de profesores en formación inicial.** *Tecné Episteme y Didaxis TED*, (40),
- Candela Rodríguez, B. F., & Viafara Ortiz, R. (2017). **Aprendiendo a enseñar química: la CoRe y los Pap-eRs como instrumentos para identificar y desarrollar el CPC** [recurso electrónico].
- Casado, G., & Raviolo, A. (2005). **Las dificultades de los alumnos al relacionar distintos niveles de representación de una reacción química.** *Universitas scientiarum*, 10(1es), 35-43.

- Cepeda Romero, O., Gallardo Fernández, I. M., & Rodríguez Rodríguez, J. (2017). **La evaluación de los materiales didácticos digitales.** *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, 2017, vol. 16, núm. 2, p. 79-95.
- Chamizo, J. A. (2005). **Hacia una cultura química.** *Ciencia. Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 56, 6-16.
- Chang, R., (2002). **Química General.** Séptima edición. McGraw-Hill Interamericana editores S.A. de C.V. 1003 pág.
- Chao Rebolledo, C., & Díaz Barriga Arceo, F. (2014). **Análisis comparativo del aprendizaje de los conceptos de calor y temperatura utilizando una simulación digital interactiva y un texto ilustrado.** *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*, 9(1), 00-00.
- Chavarría Arroyave, M. E. (2011). **La formación universitaria de estudiantes inmigrantes en la modalidad de estudios a distancia: importancia en su desarrollo humano y recursos de las tecnologías de la información y comunicación.**
- Contreras, S., & González, A. (2014). **Conceptual content selection in Chilean chemistry and natural sciences curricula: analysis of the macroscopic, microscopic and symbolic levels.** *Educación química*, 25(2), 97-103.
- de Faroh, A. C. (2007). **Cognición en el adolescente según Piaget y Vygotski. ¿Dos caras de la misma moneda?** *Boletim Academia Paulista de Psicologia*, 27(2), 148-166.

del Moral Pérez, E., Rodríguez, M. G., Castro, S. G., & Lovelle, J. M. C. (2001). **Metáforas para el Diseño de Entornos Hipermedia Educativos y Lúdicos.** *Informática Educativa Comunicaciones*, 1(1-21).

Díaz Barriga Arceo, Frida. (2003). **Cognición situada y estrategias para el aprendizaje significativo.** *Revista electrónica de investigación educativa*, 5(2), 1-13. Recuperado en 31 de mayo de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1607-40412003000200011&lng=es&tlng=es

Dumon, A., & Mzoughi-Khadhraoui, I. (2014). **Teaching chemical change modeling to Tunisian students: an “expanded chemistry triplet” for analyzing teachers' discourse.** *Chemistry Education Research and Practice*, 15(1), 70-80.

Echeverri Ortiz, A. J. (2011). Narrativas digitales: el arte de la narración en la cibercultura.

Fernández, P. S., & Vargas, N. M. (2011). **El problema del lenguaje en la enseñanza de los conceptos compuesto, elemento y mezcla.** *Educación química*, 44-51.

Franky, G. A. (2009). **Potencialidades pedagógicas de los entornos de simulación, desde la perspectiva de la cognición situada.** *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (25), 62-71.

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

Galagovsky, L. R., Rodríguez, M. A., Stamati, N., & Morales, L. F. (2003). **Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de ciencias naturales. Un ejemplo para el aprendizaje de concepto de " reacción química " a partir del concepto de " mezcla ".** *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 107-121.

García, A. M. F., & Esteban, A. P. (2009). **Educación haciendo uso de las nuevas tecnologías y medios digitales. Algunas pautas básicas.** *Revista de Educación a Distancia (RED)*.

Genially. (2022, 14 de marzo). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: 20:13, marzo 28, 2022 desde <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Genially&oldid=142279094>.

Gilbert, J. K. (2009). **Multiple representations in chemical education** (Vol. 4, pp. 1-8). D. F. Treagust (Ed.). Dordrecht: Springer.

Gómez Crespo, M. Á., Pozo, J. I., & Gutiérrez Julián, M. S. (2004). **Enseñando a comprender la naturaleza de la materia: el diálogo entre la química y nuestros sentidos.** *Educación Química*.

Gómez Paternina, D. A. (2006). **Incorporación de las TICs al aula de química.** *Revista studiositas*, 1(1), 22-28 <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/471>

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 Learning* 7, 75-83.

- Leiva, C. (2005). Conductismo, cognitivismo y aprendizaje. *Revista Tecnología en Marcha*, 18(1).
- Marqués, P. (1999). Multimedia educativo: clasificación, funciones, ventajas e inconvenientes.
- Mahaffy, P. (2006). **Moving chemistry education into 3D: A tetrahedral metaphor for understanding chemistry. Union Carbide Award for Chemical Education.** *Journal of Chemical Education*, 83(1), 49.
- Molina, M., Castro, E., Molina, J. L. & Castro, E. (2011). **Un acercamiento a la investigación de diseño a través de los experimentos de enseñanza.** *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 29(1), 75-88.
- Mutio, A., López, C., Venegas, L. & Segal, R. (2010). **Aprendiendo química gota por gota.** 1a ed. Cengage Learning Editores S.A. México, D.F. pp 200.
- Nasr, R. M. (2020). *De luz y plata: apuntes sobre tecnología alternativa en la fotografía.* Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Niño-Vega, J. A., Fernández-Morales, F. H., & Duarte, J. E. (2019). Diseño de un recurso educativo digital para fomentar el uso racional de la energía eléctrica en comunidades rurales. *Saber, Ciencia y Libertad*, 14(2), 256-272.
- Ordenes, R., Arellano, M., Jara, R. & Merino, C. (2014). **Representaciones macroscópicas, submicroscópicas y simbólicas sobre la materia.** *Educación química*, 25(1), 46-55.
- Orihuela, J. L. (1997). Narraciones interactivas: el futuro no lineal de los relatos en la era digital. *Palabra clave*, 2.

Pea, R. (2001). **Prácticas de inteligencia distribuida y diseños para la educación.** SALOMON (comp.) *Cogniciones distribuidas. Consideraciones psicológicas y educativas.* Buenos Aires, Amorrortu. 75-15.

Perkins, D. (2001). **La persona-más: una visión distribuida del pensamiento y el aprendizaje.** SALOMON (comp.) *Cogniciones distribuidas. Consideraciones psicológicas y educativas.* Buenos Aires. Amorrortu. 126-152.

Raviolo, A., Garritz, A., & Sosa, P. (2011). Sustancia y reacción química como conceptos centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica.

Rodríguez, Y. T. (2018). **Entorno virtual de aprendizaje centrado en la metáfora educativa.** *Universidad Ciencia y Tecnología*, 22(86), 11-11.

Talanquer, V. (2011). **Macro, submicro, and symbolic: the many faces of the chemistry “triplet”.** *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195.

ULLaudiovisual - Universidad de La Laguna. (21 de marzo de 2019). *Material didáctico digital*, [Archivo de Vídeo]. YouTube. <https://youtu.be/znacv-W4YX4>

Velázquez-Marcano, A., Williamson, V. M., Ashkenazi, G., Tasker, R., & Williamson, K. C. (2004). **The use of video demonstrations and particulate animation in general chemistry.** *Journal of Science Education and Technology*, 13(3), 315-323.

Zapata, M. (2012). **Recursos educativos digitales: Conceptos básicos Programa Integración de Tecnologías a la Docencia.** Colombia: Universidad de Antioquia. Disponible en: <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/boa/contenidos.php/d211b52ee1441a30b59ae00>

[8e2d31386/845/estilo/aHR0cDovL2FwcmVuZGVlbmxpbmVhLnVkZWZWR1LmNvL2VzdGlsb3MvYXp1bF9jb3Jwb3JhdGl2by5jc3M=/1/contenido.](#)

9. ANEXOS

ANEXO 1.

Análisis didáctico del contenido: Descripción de las reacciones 2 y 3 desde los tres niveles de representación.

A continuación, se muestra la descripción de las reacciones número dos y tres, las cuales corresponden a los misterios 2 y 3, como se mencionó anteriormente, aunque esta parte no fue materializada si se encuentra desarrollada en la etapa o fase de diseño.

Reacción 2: Formación del precipitado de cloruro de plata

Explicación desde el nivel macroscópico

De acuerdo con la Agencia Informativa Conacyt (2018), a mediados de los siglos 17 y 18 (XVIII) se empezaron a realizar numerosos estudios respecto a las sales de plata por parte de los científicos de esa época. Todo empezó con el descubrimiento de la reacción de precipitación al mezclar sustancias de la plata con cloruro de sodio, lo cual producía un fenómeno llamativo ya que tanto las sustancias de plata (como por ejemplo el nitrato de plata) como el cloruro de sodio en disolución acuosa se caracterizan por ser soluciones traslúcidas (parecen agua) pero cuando se mezclan ocurre un cambio notorio a simple vista, la mezcla se vuelve blanca momentáneamente y se forma un sólido o precipitado blanco: cloruro de plata o también llamado “luna córnea” (Nasr, 2020, p. 32) en esa época, este producto era utilizado principalmente por los alquimistas en experimentos referentes o alusivos a la fotografía.

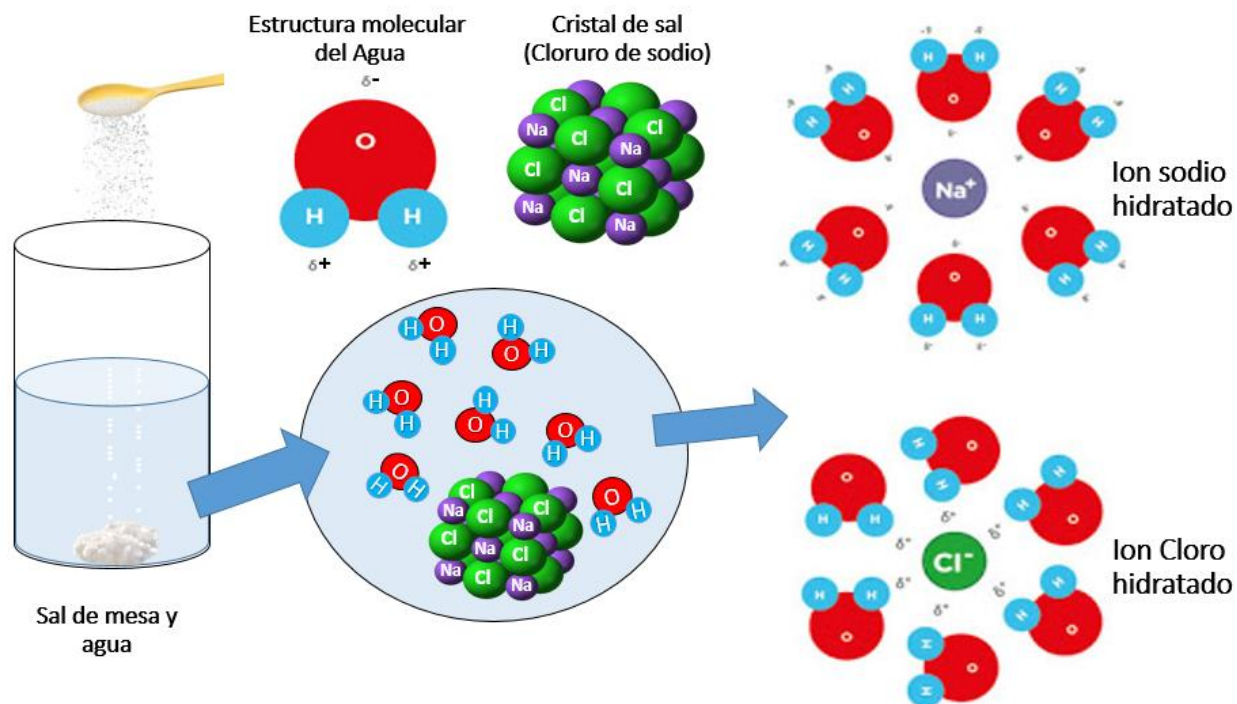
Representación a nivel macroscópico de la formación del cloruro de plata a partir de la mezcla de las soluciones de cloruro de sodio y nitrato de plata



Explicación desde el nivel submicroscópico

Al utilizar el modelo de partículas es importante aclarar que el cloruro de sodio es un compuesto iónico constituido por cationes (Na^+) y aniones (Cl^-), los cuales se encuentran organizados en forma de red, consolidando una estructura cristalina, en la que el cloro al ser más electronegativo le quita un electrón al sodio. Gracias a su estructura estable y a la atracción electrostática entre los iones positivos y negativos las fuerzas intramoleculares que mantienen unidos a estos átomos son fuertes. No obstante, al mezclar este compuesto iónico con agua se forma una solución (mezcla homogénea), en la que las moléculas de agua disocian (separan) los iones de cloro y de sodio, esto se debe a que la fuerza de atracción que ejercen las moléculas de agua (fuerza intermolecular) sobre cada uno de estos iones es tan fuerte que vence la fuerza intramolecular que los mantiene unidos, de forma que el ion Na^+ es atraído y rodeado por la parte negativa de las moléculas de agua (O^-), mientras los iones Cl^- son atraídos y rodeados por la parte positiva de las moléculas de agua (H^+).

Representación a nivel submicroscópico del proceso de disolución del cloruro de sodio en agua y la solvatación o hidratación de los iones cloro y sodio



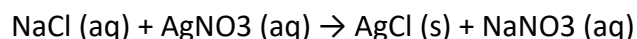
En cuanto al nitrato de plata se puede decir que es un compuesto químico constituido por tres elementos (Nitrógeno, Oxígeno y plata) y al mezclarse con agua realiza el mismo proceso de disociación que el cloruro de sodio, de modo que al final se obtiene una solución donde (NO_3^-) queda en forma de anión, separado de (Ag^+) que queda en forma de catión.

Gracias a estas disociaciones de los solutos (NaCl y AgNO_3), los iones se encuentran de alguna manera libres y son fácilmente atraídos por los iones de carga opuesta, en este caso el catión de plata es fuertemente atraído por el anión cloro, originándose así un enlace iónico entre ellos, que da lugar a la formación del cloruro de plata. De igual forma, se generan nuevos enlaces entre el anión nitrato y el catión sodio produciendo como resultado nitrato de sodio.

Para concluir es importante mencionar que el Cloruro de plata es una sal con una estructura cúbica, cristalina, que se mantienen gracias a las atracciones entre Ag^+ y Cl^- , además de esto el AgCl es un compuesto insoluble en agua y es por este motivo que después de mezclar las soluciones de NaCl y AgNO_3 se le puede observar en forma de precipitado blanco. Cabe resaltar que si ambas sustancias (NaCl y AgNO_3) no estuvieran disueltas en un solvente (agua) con sus iones disociados, es poco probable que reaccionen entre sí, probablemente no se daría lugar a la reacción química.

Descripción desde el nivel simbólico

Mediante la ecuación química que se muestra a continuación se puede representar de forma simbólica y resumida el proceso o reacción química que ocurre al mezclar el ***NaCl*** (aq) y el AgNO_3 (aq), lo cual da como resultado o producto AgCl (s) y NaNO_3 (aq)



Reacción 3. Óxido-reducción del cloruro de plata

Desde tiempos remotos el hombre ha buscado la forma de reproducir imágenes de su realidad, por este motivo se crea la fotografía, que puede considerarse como un proceso o técnica

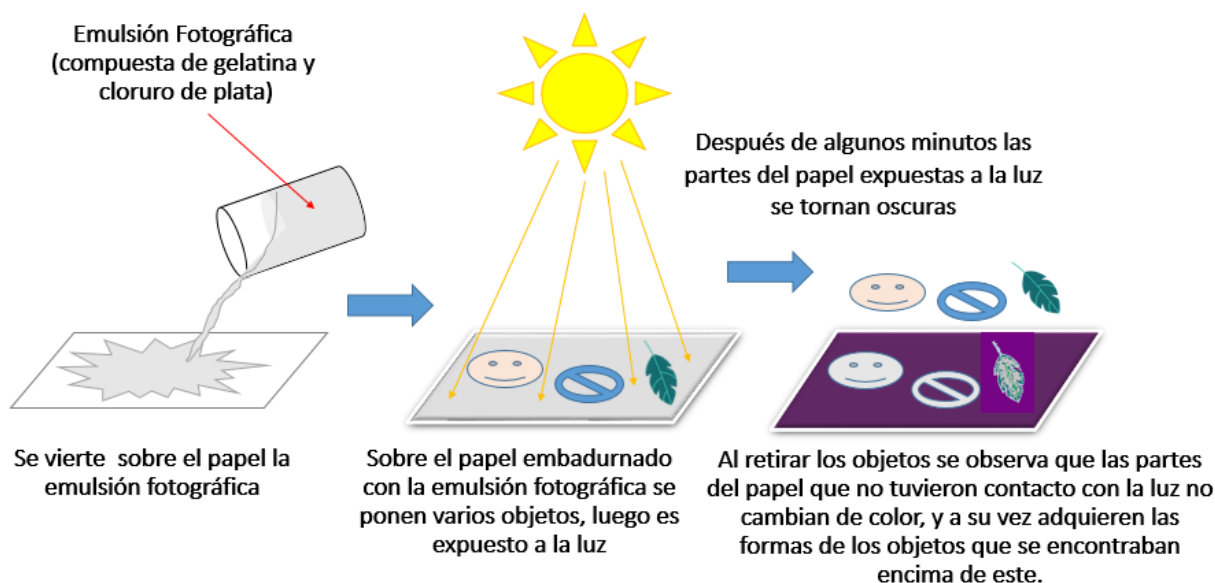
que ha venido evolucionando con el paso del tiempo y consiste en capturar imágenes con ayuda de la luz.

Explicación desde el nivel macroscópico.

A mediados del siglo 18 se descubrió que por medio de reacciones químicas era posible capturar imágenes de forma permanente, estas reacciones en muchas ocasiones involucraban sustancias fotoactivas como los haluros de plata, que al entrar en contacto con la luz inician una reacción de óxido-reducción, lo cual, produce un cambio de coloración notorio a simple vista.

En general estas técnicas consistían en obtener un haluro de plata, el cual se caracteriza por ser fotosensible, es decir que al entrar en contacto con la luz inicia una reacción de óxido-reducción con un cambio de coloración visible a simple vista. Uno de los haluros de plata más utilizados y conocidos en la fotografía es el cloruro de plata, el cual generalmente se encuentra como un sólido o sal de color blanco, este se utiliza para producir una emulsión fotográfica, que es una mezcla de este haluro más gelatina hidratada, esta mezcla se aplica sobre un papel para foto sensibilizarlo, de modo que al proyectar o poner sobre él, un objeto o imagen que se desea replicar y luego al exponer esto a la luz por un lapso de tiempo corto, se puede observar que las partes del papel que tuvieron contacto con la luz cambian de color tornándose de claro a oscuro, mientras que, las partes del papel no expuestas a la luz conservan su color inicial, de modo que, al quitar la figura u objeto se puede observar que en el papel queda plasmada la imagen o forma del objeto que se había puesto inicialmente (ver figura). Mediante este procedimiento se puede obtener una especie de negativos o imágenes a blanco y negro de cualquier objeto o imagen. En resumen, al exponer el cloruro de plata a la luz, sea en emulsión o no (directamente el polvo), este cambia de color de blanco a morado o gris. Finalmente, cabe resaltar que el descubrimiento de este fenómeno químico fue muy útil para el avance de la fotografía, tanto que se viene utilizando hasta ahora en las cámaras fotográficas análogas, específicamente en la película fotográfica o rollo que está en el interior, cuya composición contiene una capa con una emulsión fotosensible que al contacto con la luz hace posible que se capturen las imágenes.

Representación a nivel macroscópico de la reacción de oxidación-reducción entre el cloruro de plata (en emulsión) y la luz, que en consecuencia genera un cambio de color en el papel notorio a simple vista.



Explicación desde el nivel submicroscópico.

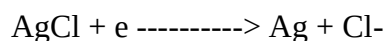
Para obtener la emulsión fotográfica se mezcla el cloruro de plata con gelatina hidratada, (sustancia que funciona como un excelente medio de dispersión) hasta que los cristales de AgCl queden suspendidos y distribuidos por toda la gelatina. Luego, cuando esta es aplicada sobre el papel y expuesta a la luz, el cambio de color que se presenta se debe a que el cloruro de plata reacciona fácilmente con los fotones (energía) provenientes de la luz, en otras palabras los fotones son absorbidos por los átomos que componen la emulsión (en especial los átomos que conforman el cloruro de plata) generando como consecuencia que los electrones presentes en dichos átomos se exciten, y en el caso del ion cloro conlleva a que se oxide, es decir que este termina perdiendo o expulsando uno de sus electrones, este electrón “libre” comienza a moverse alrededor de la red cristalina del cloruro de plata y al final es atraído por los iones plata (Ag^+) de modo que los iones plata terminan reduciéndose para formar plata metálica, en otras palabras los iones plata terminan ganando ese electrón que estaba libre, y esta es la razón por la cual se oscurece o cambia de color el papel emulsionado expuesto a la luz, ahora bien, las agrupaciones de átomos de plata metálica se pueden observar como las partes del papel que se oscurecieron, mientras que las partes del papel que reciben poca o nada de luz no reaccionan y por eso no

cambian de color, generalmente los haluros de plata que no reaccionan son removidos en las técnicas posteriores del fijado de la imagen. Por último cabe resaltar que a menudo, en la emulsión, junto al cloruro de plata (haluro de plata) se encuentran presentes impurezas (como por ejemplo sulfuro de plata), e imperfecciones llamadas puntos de sensibilidad (que son objetos de forma irregular), las cuales ayudan a que ocurra la reacción de oxidorreducción, ya que las impurezas e imperfecciones atrapan la energía de la luz, es decir que captan los fotones y los envían a los cristales de sal de cloruro de plata, no obstante si la emulsión contuviera solamente cristales de AgCl, debido a su estructura perfecta, le costaría más reaccionar con los fotones y por ende la reacción química cuando el cloruro de plata es expuesto a la luz podría tardar un poco más.

Explicación desde el nivel simbólico:

A continuación, se puede observar mediante las ecuaciones químicas el proceso que se lleva a cabo cuando el AgCl reacciona con la luz y absorbe un fotón, produciendo en un primer momento que el AgCl se descomponga en iones Ag^+ y Cl^- , para luego el catión Ag^+ ganar el electrón que pierde el anión Cl^- y convertirse así en plata metálica.

Descomposición del cloruro de plata



Reducción del ion plata:

