



CAMBIOS EN LOS NIVELES DE REPRESENTACIÓN DE LOS ESTUDIANTES A
TRAVÉS DE LA MODELIZACIÓN ANALÓGICA EN LA ENSEÑANZA DEL
ENLACE QUÍMICO

JUAN DAVID MÉNDEZ PÉREZ
YULIANA BALLESTEROS CORREA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES
FACULTAD DE ESTUDIOS SOCIALES Y EMPRESARIALES
MAESTRÍA EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS VIRTUAL
MANIZALES, COLOMBIA

2021

CAMBIOS EN LOS NIVELES DE REPRESENTACIÓN DE LOS ESTUDIANTES A
TRAVÉS DE LA MODELIZACIÓN ANALÓGICA EN LA ENSEÑANZA DEL
ENLACE QUÍMICO

Autores

JUAN DAVID MÉNDEZ PÉREZ
YULIANA BALLESTEROS CORREA

Proyecto de grado para optar al título de Magister en Enseñanza de las Ciencias

Tutor

WILMAN RICARDO HENAO GIRALDO
Doctor en Educación de la Universidad de Antioquia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES
FACULTAD DE ESTUDIOS SOCIALES Y EMPRESARIALES
MAESTRÍA EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS VIRTUAL
MANIZALES, COLOMBIA

2021

DEDICATORIA

A Dios por su infinita bondad en mi vida.

A mis hijos Ian David y Lia Patricia, mi mayor motivación para seguir adelante.

A mis padres Juan y Livy Luz, a mis hermanos José y Katherine, quienes siempre me apoyaron para salir adelante en mis estudios.

A mi esposa Ayrini, por su compañía y apoyo incondicional.

Juan David Méndez.

Dedico este logro a mis padres, por ayudarme a crecer como ser humano desde la edad más temprana hasta ahora; a mi esposo Miguel por brindarme su colaboración y apoyo constante en mi día a día y a mis hijas Isabela y Eugenia por impulsarme a querer continuar triunfando en todo proyecto que decida emprender.

Yuliana Ballesteros Correa.

AGRADECIMIENTOS

A Dios que nos dio luz para salir adelante en este proyecto.

A nuestras familias y amigos que incondicionalmente nos apoyaron.

Agradecimientos especiales a nuestro director de tesis Dr. Wilman Ricardo Henao por su motivación, orientaciones y lineamientos para llevar a cabo este trabajo.

A todo el cuerpo de profesores de la maestría en Enseñanzas de la Ciencias de la Universidad Autónoma de Manizales por sus valiosas orientaciones.

A los estudiantes del grado decimo de las Instituciones Educativas Candelaria Hacienda y San Anterito, por su tiempo y voluntad en este trabajo de investigación.

A los señores jurados por su importante aporte a nuestra investigación.

A la profesora Ana Milena López Rúa por su apoyo incondicional y comprensión en los momentos de dificultad durante el desarrollo de la maestría, por su calidad humana, sus conocimientos y sus continuas orientaciones que fueron fundamentales en este proceso de aprendizaje.

A la compañera Ana Bertha Ramos Sánchez y Karina Correa de la maestría en enseñanza de las ciencias Cohorte V, por su apoyo y compañerismo que nos permitieron compartimos muchos momentos de trabajo e información que sirvieron de apoyo para este logro.

A todos ellos...

Gracias...

RESUMEN

La presente investigación da cuenta de los cambios en los niveles de representación en estudiantes del grado décimo pertenecientes a las instituciones educativas Candelaria Hacienda y San Anterito en el municipio de Lorica. La estrategia consistió en la aplicación de una unidad didáctica basada en el modelo didáctico analógico propuesta por Galagovsky & Adúriz Bravo (2001), con ello se buscó establecer cambios en los modos de representación de los estudiantes a nivel macroscópico, submicroscópico y simbólico, de acuerdo a la conceptualización didáctica propuesta por Johnstone (1982), en un campo temático específico de la química incorporado a cuatro actividades durante el momento de la intervención practicada a cuatro estudiantes. El análisis cualitativo permitió establecer los cambios en los niveles de representación mediante la aplicación de un instrumento inicial y final realizado con dos estudiantes. La caracterización de los cambios en los niveles de representación mostró que hubo escaso cambio conceptual en las representaciones del nivel macroscópico; mientras que por el contrario, se encontraron algunos avances en las representaciones dentro de los niveles submicroscópico y simbólico, puesto que aumentó la frecuencia en el uso del lenguaje de la química para explicar los fenómenos y en el empleo de símbolos y diagramas tridimensionales; sin embargo, también se evidenciaron algunas dificultades en estos dos niveles relacionados con la persistencia en el manejo de un lenguaje antropomórfico y animista en el nivel submicroscópico y la omisión o algunos errores conceptuales en la anotación de símbolos para el nivel simbólico. El empleo de los niveles de representación en la enseñanza de la química constituye una valiosa herramienta para el aprendizaje, teniendo en cuenta que las construcciones de esta ciencia se basan tanto en los fenómenos observables como en la explicación de los mismos a nivel microscópico y la simplificación del lenguaje a través de la utilización de símbolos.

Palabras clave: Niveles de representación; modelo analógico; enlace químico; enseñanza de la química.

ABSTRACT

This research shows the changes in the levels of representation in tenth grade students belonging to the educational institutions Candelaria Hacienda and San Anterito in the municipality of Lorica. The strategy consisted in the application of a didactic unit based on the analogical didactic model proposed by Galagovsky & Adúriz Bravo (2001), the present investigation accounts for the changes in the representation modes of the students at macroscopic, submicroscopic and symbolic levels, according to the didactic conceptualization proposed by Johnstone (1982), in a specific thematic field of chemistry incorporated to three activities during the time of the intervention practiced to four students. The qualitative analysis made it possible to establish the changes in the levels of representation through the application of an initial test and a final test carried out with two students. The characterization of the changes in the levels of representation showed that there was little conceptual change in the representations of the macroscopic level; while on the contrary, some progress was found in the representations within the submicroscopic and symbolic levels, since the frequency in the use of the language of chemistry to explain the phenomena and in the use of symbols and three-dimensional diagrams increased; however, some difficulties were also evidenced in these two levels related to the persistence in the use of an anthropomorphic and animistic language in the submicroscopic level and the omission or some conceptual errors in the annotation of symbols for the symbolic level. The use of levels of representation in the teaching of chemistry constitutes a valuable tool for learning, taking into account that the constructions of this science are based both on observable phenomena and on the explanation of these phenomena at the microscopic level and the simplification of language through the use of symbols.

Keywords: Levels of representation; analog model; Chemical bond; teaching chemistry.

TABLA DE CONTENIDOS

1	PRESENTACIÓN.....	13
2	ÁREA PROBLEMÁTICA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	15
2.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
2.2	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	18
3	JUSTIFICACIÓN.....	19
4	OBJETIVOS	21
4.1	OBJETIVO GENERAL	21
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
5	ANTECEDENTES.....	22
5.1	ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	23
5.2	ANTECEDENTES NACIONALES	26
6	REFERENTE TEÓRICO.....	29
6.1	NIVELES DE REPRESENTACIÓN	29
6.1.1	Nivel De Representación Macroscópico	31
6.1.2	Nivel De Representación Submicroscópico	32
6.1.3	Nivel De Representación Simbólico	34
6.2	LAS ANALOGÍAS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS	35
6.3	LAS ANALOGÍAS EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA	39
6.4	EL ENLACE QUÍMICO.....	40
7	METODOLOGÍA	43
7.1	INTRODUCCIÓN	43
7.2	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	43
7.3	POBLACIÓN Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN	44
7.3.1	Unidad De Trabajo	45
7.4	CONSIDERACIONES ÉTICAS.....	46
7.5	DISEÑO METODOLÓGICO	46
7.6	MODELO DE INTERVENCIÓN: LA UNIDAD DIDÁCTICA.....	49
7.6.1	Objetivos De La Unidad Didáctica	50
7.7	DESCRIPCIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE ANÁLISIS	51
7.8	INSTRUMENTOS	52
7.9	PLAN DE ANÁLISIS	53

8	RESULTADOS Y ANÁLISIS	55
8.1	RESULTADOS	55
8.2	ANÁLISIS Y DISCUSIONES	66
8.2.1	Introducción	66
8.2.2	Análisis De La Categoría Niveles De Representación	66
8.2.3	Contribución Del Modelo Analógico En Los Cambios De Los Niveles De Representación En La Enseñanza Del Enlace Químico.	88
9	CONCLUSIONES	104
10	RECOMENDACIONES	106
11	REFERENCIAS	107

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Categorías y subcategorías investigativas.	51
Tabla 2. Criterios de los niveles de representación para la caracterización cualitativa de descripciones representativas en función de conceptos relacionado al enlace químico.	55
Tabla 3. Representaciones importantes encontradas en los estudiantes en el instrumento inicial	57
Tabla 4. Representaciones importantes encontradas en los estudiantes en el instrumento final.	61
Tabla 5. Análisis de las propiedades organolépticas en el instrumento inicial y final.	67
Tabla 6. Análisis de las propiedades organolépticas de compuestos iónicos y covalentes y metales en la unidad didáctica.	68
Tabla 7. Análisis del cambio de estado en el instrumento inicial y final.	70
Tabla 8. Análisis de las reacciones químicas en el instrumento inicial y final.	73
Tabla 9. Análisis de las respuestas que describen la estructura y comportamiento de los enlaces químicos.	75
Tabla 10. Análisis de los diagramas representacionales de los estudiantes.	77
Tabla 11. Representación de fórmulas moleculares de compuestos iónicos y covalentes. ..	80
Tabla 12. Formulas moléculas generadas a través de la combinación de las fichas establecidas en la figura 5.	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Niveles de representación propuestos por Johnstone (1991).	30
Figura 2. Estructura de una analogía	36
Figura 3. Diseño metodológico.	48
Figura 4. Fichas usadas para formar compuestos iónicos y covalentes.....	79
Figura 5. Representaciones de compuestos iónicos y covalentes creado por E2 y E3 a través de las fichas.	81
Figura 6. Representación de la molécula del agua por E2 y E3 en la pregunta 1b del instrumento final.....	82
Figura 7. Relación analógica para el enlace iónico	92
Figura 8. Relación analógica para el enlace covalente.....	94
Figura 9. Relación analógica para el enlace metálico	97
Figura 10. Guía de orientación de las fichas del análogo para la formación de combinaciones.	100

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Instrumento De Indagación Inicial Y Final.....	115
Anexo B. Unidad Didáctica.....	121
Anexo C. Consentimiento Informado.....	141

1 PRESENTACIÓN

La enseñanza de la química hace parte del currículo en nuestro país, por ello la implementación de estrategias didácticas que conduzcan con éxito el aprendizaje de esta ciencia por parte del estudiantado de secundaria debe ser un propósito de los docentes que imparten esta asignatura en las aulas (De Posada, 1999). Dentro del currículo de química se considera de forma general, que la enseñanza y el aprendizaje del concepto de enlace químico ha sido poco estudiado dentro de la didáctica de esta ciencia; por ello en la presente investigación contemplamos abordar este importante marco desde la teorización de los niveles de representación propuestos por Johnstone (1982).

La noción de que existen tres 'dominios' o 'niveles' de conocimiento químico, a menudo etiquetados como macroscópicos, submicroscópicos y simbólicos y a veces denominados 'tripleto' del conocimiento químico (Talanquer, 2010), se ha vuelto muy influyente en el campo de la educación en química. Se ha descubierto que esta idea es ampliamente útil y se ha adoptado y adaptado de varias maneras que demuestran su utilidad en el campo (Taber, 2013), por lo tanto, se han sentado las bases en el aprendizaje del enlace químico desde esta perspectiva; situando el desarrollo temático y conceptual desde estos dominios y niveles condensados en una unidad didáctica bajo el método del modelo analógico.

En este orden de ideas, la enseñanza de la química basada en modelos puede fomentar la discusión y la articulación de explicaciones que alienten a los estudiantes a evaluar la lógica de su pensamiento (Raghavan & Glaser, 1995) en particular desde el aspecto metodológico que implica el uso del modelo didáctico analógico como vehículo de andamiaje se ha establecido como punto de partida el uso de análogos concretos definidos como dispositivos didácticos facilitadores del aprendizaje de conceptos abstractos (Glynn, 1990), los cuales utilizan conceptos y situaciones que tienen un claro referente en la estructura cognitiva de los alumnos; este referente se relaciona analógicamente con los conceptos científicos cuyo aprendizaje se quiere facilitar (Galagovsky, 1993).

La relevancia de la actual propuesta se ve soportada por la ausencia de estudios didácticos previos, dentro de las fuentes rastreadas, en las Instituciones Educativas Candelaria Hacienda y San Anterito del municipio de Lorica; y en general por las pocas investigaciones encontradas en países hispanohablantes acerca de la aplicación de los niveles de representación referentes a la educación en química. En adición a lo anterior, la baja calidad de los resultados en las pruebas de estado como evaluación externa en ambas instituciones podría justificar un motivo de preocupación concernientes al proceso de aprendizaje de los estudiantes.

En términos concretos se pretende que los estudiantes adquieran un dominio conceptual importante respecto al concepto de enlace químico desde los niveles representacionales macroscópico, submicroscópico y simbólico mediante el uso del modelo analógico en el aula de clases inmerso en la unidad didáctica aplicada; con ello los resultados esperados se fundamentan en un posible cambio en los esquemas cognitivos iniciales de los estudiantes que están más focalizados hacia las concepciones alternativas y por ende más lejanos de las propuestas conceptuales que el saber erudito hoy en día mantiene y reconoce acerca del enlace químico.

Finalmente para alcanzar los resultados planteados anteriormente, se ha estructurado una propuesta que consta de las siguientes fases: la primera, es la fase de diagnóstico donde se hace uso de un instrumento de indagación validado por un experto; la segunda consiste en la revisión de los instrumentos de indagación que permita identificar las principales dificultades que posiblemente evidencien los estudiantes; y la tercera consiste en implementar una unidad didáctica estructurada bajo los parámetros del modelo analógico y que sirva de vehículo hacia el aprendizaje del enlace químico. A partir de la secuencia de esta ruta de instrumentos se obtendrán las evidencias que estructurarán los resultados, cuyo aporte esperamos sea de utilidad para investigaciones futuras acerca de la enseñanza de la química a la luz de los niveles de representación y los modelos analógicos.

2 ÁREA PROBLEMÁTICA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El currículo del área de Ciencias Naturales y Educación Ambiental de Colombia comprende tres áreas del conocimiento científico fundamentadas en la educación básica y media como son la biología, química y física. Además, según los lineamientos curriculares en Ciencias Naturales y educación ambiental¹ esta se desarrolla bajo tres entornos: entorno vivo (Biología), entorno físico (Química y Física) y Ciencia, tecnología y Sociedad, las cuales están orientadas bajo ciertos criterios en ciencias, cuya intención es que los estudiantes desarrollen las habilidades científicas y las actitudes requeridas para explorar fenómenos y para resolver problemas según los estándares básicos de competencias en ciencias naturales².

Estas asignaturas comprenden un enorme y diverso conocimiento científico, en especial, la química que se enfoca en diferentes fenómenos y propiedades de la materia que constituye el universo. Este conocimiento debe ser llevado a las escuelas para dicha comprensión, lo cual requiere metodologías didácticas para su enseñanza. Sin embargo, existen diferentes obstáculos que dificultan la enseñanza y el aprendizaje por la complejidad de conceptos, metodologías poco significativas para la enseñanza de estas asignaturas, volviéndose teórica, poco atractiva e insignificante para los estudiantes y “en apariencia los alumnos cada vez aprenden menos y se interesan menos por lo que aprenden.” (Pozo & Gómez, 2006, p. 18).

La química es una de las ciencias más complejas para comprender, dado que el aprendizaje de los conceptos que la fundamentan presentan un alto nivel de complejidad, puesto que constan de elementos tales como: la naturaleza abstracta de los tópicos; el alto componente matemático; un lenguaje basado en los tres niveles de representación, y los

¹ Lineamientos Curriculares de Ciencias Naturales y Educación Ambiental, publicado por el Ministerio de educación Nacional de Colombia, en el año 1998. Disponible:

https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-89869_archivo_pdf5.pdf

² Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales (Guía N°. 7), publicado por el Ministerio de educación Nacional de Colombia, en el año 2004. Disponible:

https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-81033_archivo_pdf.pdf

núcleos conceptuales fundamentados por los esquemas conceptuales de la química (Candela Rodríguez & Viafara Ortiz, 2014), que resultan de difícil asimilación por parte de aprendices conllevando a dificultades que van en función de estos elementos. Por tanto, se requiere de buenas metodologías de enseñanza que potencien la asimilación de dichos elementos y promuevan un cambio conceptual en los estudiantes. Adicional a esto, es necesario que los alumnos comprendan el mundo que les rodea y sean capaces de interpretar los fenómenos relacionados con los procesos químicos que suceden diariamente.

Ante las dificultades de esta área del conocimiento respecto al aprendizaje, la química implica observar, describir fenómenos y utilizar representaciones de la estructura interna de la materia que el ojo humano no puede ver. Además, estructurar analogías para poderlas relacionar con un fenómeno en cuestión. Dado esto, en el proceso de aprendizaje de la química, el estudiante tiene que relacionar el mundo macroscópico que percibe con un mundo submicroscópico basado en átomos y moléculas que no puede percibir, además, debe aprender un sistema de símbolos necesarios para su representación. Adicionalmente, se hace necesario que el estudiante relacione cualquier fenómeno de la química desde lo que puede percibir (nivel macroscópico) con lo que no puede ver (nivel microscópico), y logre representar dicho fenómeno haciendo uso del lenguaje simbólico de esta área y, reconozca la importancia de la química y de los procesos de modelación que usa la ciencia para la comprensión de los diferentes fenómenos que suceden en nuestro entorno.

Sin embargo, en la química hay conceptos como átomo, partícula, enlace químico, transferencia de electrones, polaridad, estructura molecular, etc., que son difíciles de comprender por los alumnos ya que son nociones abstractas, y son inexplicables sin el uso de analogías o modelos. Los alumnos afrontan el aprendizaje de esta disciplina del conocimiento científico con conceptos nuevos de un alto nivel de abstracción y que además requieren la utilización de un lenguaje altamente simbólico, que es desconocido para ellos.

El enlace químico es uno de los conceptos más abstractos, de difícil comprensión en los alumnos que estudian la química y, no le ven la suficiente importancia para sus vidas. Además, este tópico de la química según el currículo colombiano hace parte de la

enseñanza de la educación media y, requiere del uso de metodologías que contribuyan a facilitar el aprendizaje de este concepto por los discentes.

En el caso particular del grado décimo de la media académica, se diagnostica una notable deficiencia en el dominio de los saberes previos para interiorizar los conceptos y procesos ligados al estudio de la química; de explicar un fenómeno químico desde lo que puede observar o percibir hacia lo que sucede internamente; también, se evidencia la dificultad que muestran gran parte de los discentes al momento de establecer diferencias entre dos situaciones problemáticas, la falta de coherencia y claridad en las descripciones de esquemas o dibujos y del uso de la simbología usada en la química para representar fenómenos de esta ciencia.

Adicional a esto, los alumnos no puedan explicitar los niveles de representación (nivel macroscópico, nivel submicroscópico y nivel simbólico) como elemento fundamental para el aprendizaje de la química puesto que hay problema de comprensión y relación de estos niveles que se convierte en un obstáculo para el aprendizaje de la química (Gabel, 1999), dado que estas corresponden a representaciones experimentadas por los sentidos, a la explicación cualitativa y cuantitativa de los fenómenos. Desde esta perspectiva, estas formas de representación pueden entonces expresar diferentes lenguajes que permiten ser llevados a un plano de la modelización.

Basados en lo expuesto, surge la necesidad de minimizar los obstáculos que tienen los estudiantes frente a los niveles de representación, por tanto, en esta propuesta investigativa se acudirá a un modelo didáctico basado en analogías como estrategia didáctica para facilitar la comprensión de estos niveles de representación de la química bajo el marco conceptual del enlace químico, dado que las analogías permiten ser la conexión que estrecha la distancia entre aquello que el docente quiere que el alumno aprenda y lo que el alumno realmente comprende y a la vez se convierten en una herramienta en potencia para desarrollar estrategias, habilidades y valores necesarios para la transposición.

En el presente trabajo de investigación, se pretende estudiar los diferentes niveles de representación que tienen los estudiantes, usando las analogías como estrategia didáctica en

la enseñanza y aprendizaje de la química, dado que en las instituciones educativas San Anterito y Candelaria Hacienda del municipio de Lorica no hay estudios investigativos referentes a los niveles de representación que den cuenta del estado que se encuentran los estudiantes, además, en la literatura colombiana no se ha encontrado un estudio respecto a los cambios en los niveles de representación iniciales y finales bajo el concepto del enlace químico usando como estrategia didáctica un modelo analógico, por lo tanto, se convierte en un vacío conceptual que requiere ser abordado.

2.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo cambian los niveles de representación en estudiantes del grado décimo de las Instituciones Educativas de Candelaria Hacienda y San Anterito mediante una propuesta para la enseñanza del enlace químico empleando la modelización analógica?

3 JUSTIFICACIÓN

La química ha sido catalogada como una ciencia difícil de aprender (Treagust, Nieswandt, & Duit, 2000), descrita por varios autores como altamente abstracta, compleja (Johnstone, 2000; Nakhleh, 1992) y básicamente tiene conceptos que son totalmente desconocidos para los estudiantes quienes construyen representaciones personales que entran en conflicto con las explicaciones científicamente aceptadas (Treagust & Chittleborough, 2001).

El concepto de enlace químico siendo uno de los temas claves en la enseñanza dentro del currículo de química ciertamente no se escapa de considerarse complejo y abstracto desarrollando muchas veces concepciones alternativas o “misconceptions” en los estudiantes durante su aprendizaje (Levy Nahum, Mamlok-Naaman, Hofstein, & Taber, 2010; Nahum, T., Mamlok - Naaman, R., Hofstein, A., Krajcik, 2007), es por ello que una de las metas en la comunidad de la enseñanza de química es desarrollar estrategias más efectivas y científicamente alineadas para enseñar a los estudiantes de secundaria dicho concepto (Levy Nahum et al., 2010; Nahum, T., Mamlok - Naaman, R., Hofstein, A., Krajcik, 2007); en correspondencia con este pensamiento, el propósito central de la presente investigación es documentar los cambios en los niveles de representación en estudiantes del grado décimo mediante una estrategia didáctica que busque un acercamiento por parte de dichos estudiantes al conocimiento sobre el concepto de enlace químico en las Instituciones educativas Candelaria Hacienda y San Anterito del municipio de Lorica .

La pertinencia de la presente propuesta está fundamentada en varios aspectos; primeramente al realizar una búsqueda exhaustiva de estudios previos enfocados en la enseñanza y el aprendizaje de la química en las instituciones educativas San Anterito y Candelaria Hacienda del municipio de Lorica no se hallaron referencias a ninguna previa, así como tampoco en la literatura consultada poniendo de manifiesto la necesidad de llevar a cabo estudios que faciliten mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje en estas instituciones educativas; en segunda instancia, brindar referentes teóricos que contribuyan a mejorar los procesos de la enseñanza de la química en el marco conceptual del enlace

químico cuya necesidad se ha visto evidenciada por la complejidad y alto grado de abstracción de esta asignatura.

Dentro de las estrategias de enseñanza estudiadas previamente por otros autores surge el concepto de los niveles de representación para la enseñanza de la química propuestos por Johnstone (1982); cuya importancia se fundamenta en que para conseguir una adecuada interpretación de cada uno de los conceptos químicos es necesario trabajarlos a nivel macroscópico, microscópico y simbólico (Rocha, 2005).

Se plantea entonces la enseñanza del concepto de enlace químico desde la perspectiva de los niveles de representación empleando el modelo didáctico analógico como estrategia didáctica de anclaje entre la complejidad conceptual inmersa dentro del tópico y los aspectos cotidianos de los estudiantes. Por ende, se pretende diseñar una unidad didáctica que incluya análogos para facilitar el aprendizaje de manera articulada entre los niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico teniendo en cuenta los aspectos estructurales y funcionales que hacen parte de esta unidad temática.

El uso de análogos se sustenta en una serie de dificultades, una de las cuales está asociada a la brecha que se produce entre el lenguaje cotidiano (en sus aspectos sintácticos y semánticos) y el lenguaje científico erudito (Galagovsky & Adúriz Bravo, 2001), puesto que son recursos para facilitar el aprendizaje cuando un modelo teórico posea un grado de abstracción que impida la comprensión del alumno como es el caso del concepto de enlace químico (Adúriz - Bravo & Galagosky, 1997).

Finalmente, como resultado de esta investigación se espera profundizar en la conceptualización de marcos teóricos como los niveles de representación y el modelo didáctico analógico en la enseñanza de la química como referentes para futuras investigaciones y, del mismo modo aportar elementos metodológicos de tipo didáctico para la enseñanza de las ciencias en el aula de clases.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Describir los cambios en los niveles de representación de los estudiantes de las Instituciones Educativas Candelaria Hacienda y San Anterito en torno al enlace químico mediante el empleo de un modelo analógico como estrategia didáctica.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los niveles de representación macroscópico, submicroscópico y simbólico iniciales de los estudiantes en el concepto del enlace químico mediante el instrumento de indagación de ideas previas.
- Reconocer los niveles de representación macroscópico, submicroscópico y simbólico finales que se originan en los estudiantes mediante el uso de analogías que permitan promover cambios en estos niveles de representación durante el aprendizaje del enlace químico.

5 ANTECEDENTES

Los niveles de representación de la química³ se han venido estudiando desde varios años resaltando el papel fundamental de estos para la comprensión de conceptos y fenómenos relacionados a la química y, también se han resaltado las dificultades que tienen los alumnos para manejar estos niveles (Gilbert & Treagust, 2009; Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2003), además, se han propuesto diferentes estrategias didácticas para la enseñanza de la química teniendo en cuenta la jerarquización de los niveles de representación (Caamaño, 2014; Gabel, 1993; Taber, 2013; Talanquer, 2010).

Esta investigación se centró bajo el estudio de la categoría investigativa: *niveles de representación*, teniendo en cuenta el uso de un modelo analógico como estrategia didáctica bajo el concepto del enlace químico, por eso haremos mención de algunos trabajos reportados en la literatura científica relacionados con los alcances epistémicos y la importancia de seguir investigando aún más estos niveles de representación para la enseñanza y aprendizaje de la química.

En este punto es relevante anotar que las investigaciones presentadas poseen claras distinciones con el presente estudio, dado que ninguna de ellas asocia los elementos relacionados en la presente que son: niveles de representación, modelo didáctico analógico y enlace químico, pero proveen de información valiosa para el desarrollo del mismo con respecto a: a) los avances y obstáculos del aprendizaje de la química a la luz de los niveles de representación y otras estrategias afines; b) Aportes en el esclarecimiento de las bondades y dificultades en aplicación del modelo didáctico analógico en la enseñanza y aprendizaje de la química y c) profundización en el marco conceptual y epistemológico para la enseñanza del enlace químico.

A continuación, daremos a conocer algunos antecedentes a nivel internacional y nacional que darán cuenta de la trascendencia que tiene esta investigación:

³ Johnstone (1982) propone tres niveles para comprender y explicar fenómenos relacionados a la química: el nivel microscópico, nivel submicroscópico y el nivel simbólico.

5.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

La comprensión de los niveles de representación en química se ha convertido en un foco de investigación en diferentes niveles de escolaridad, tanto en estudiantes de secundaria como de pregrado, partiendo de que la química es considerada una ciencia difícil de estudiar, puesto que, comprende fenómenos y conceptos que necesitan ser explicados a nivel microscópico, macroscópico y simbólico. Se resaltarán estudios internacionales donde se valora la importancia de seguir contribuyendo a la literatura científica sobre dichos niveles de representación.

En la investigación realizada por Santos & Arroio (2016) se proporciona una revisión exhaustiva de la literatura sobre niveles de representación (macroscópico, microscópico y simbólico) en la que involucran modelos de pensamiento en química, resumiendo lo que se conoce actualmente y proporcionando orientación para futuras investigaciones. Los resultados evidencian una gran preocupación en torno a las dificultades y habilidades de estudiantes de secundaria y pregrado para comprender la química en todos los niveles de representación. Sin embargo, se encontraron pocos estudios sobre la enseñanza de programas educativos, lo que demuestra que todavía faltan estudios científicos sobre este tema.

El aporte de los estudios realizados por Santos & Arroio (2016) a la presente investigación se fundamentan en la recopilación que dichos investigadores realizan acerca de la aplicación de los niveles de representación en la enseñanza y el aprendizaje de la química tomando como punto de partida la propuesta de Johnstone (1982) y su aplicación en la enseñanza escolar y universitaria de la química; en este sentido se exploran conceptos relacionados con la dificultad de relacionar los niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico en parte por la complejidad y abstracción de la química como ciencia así como por la limitación de la memoria de trabajo estudiada por autores como Cook (2006).

En adición también es importante resaltar de este estudio los aportes teóricos que convergen en estrategias que emplean herramientas multimedia que promuevan el

desarrollo del pensamiento visoespacial como mediador del nivel submicroscópico de representación.

Por otra parte, Gkitzia, Salta, & Tzougraki (2020) realizan un estudio empleando un método mixto con alumnos griegos de 11° grado y de pregrado de química de tercer año con el fin de traducir las representaciones químicas en relación con los conceptos químicos básicos de elemento químico, compuesto químico, solución acuosa y estado sólido de la materia. Los resultados mostraron que la capacidad de los estudiantes de 11° grado para moverse a través de los tres niveles de química es muy baja, además, los alumnos mostraron un rendimiento más bajo en las traducciones relacionadas con los conceptos compuesto químico y solución acuosa que con respecto a los otros conceptos. Adicional a esto, los estudiantes también mostraron el nivel más bajo de rendimiento al traducir las representaciones submicroscópicas en las simbólicas. En general, los resultados indican que traducir entre diferentes tipos de representaciones químicas es una tarea muy difícil, que depende de la comprensión conceptual de los estudiantes.

En concordancia con lo anterior, los estudiantes de undécimo grado mostraron una capacidad limitada para traducir representaciones químicas en comparación con los grupos de pregrado, aunque el desempeño de estos últimos no fue considerado satisfactorio, en este sentido los errores de las respuestas de los estudiantes a las preguntas de traducción pudieron atribuirse a deficiencias en el conocimiento o concepciones alternativas o falta de experiencia en tales tareas.

En el nivel simbólico de representación, por ejemplo, los estudiantes de grado 11 enfrentaron dificultades para usar estas representaciones y correlacionarlas con representaciones submicroscópicas y macroscópicas; en muchos casos se cometieron errores porque los estudiantes no eran plenamente conscientes del significado convencional de los símbolos o porque tenían conceptos erróneos sobre conceptos subyacentes. Adicionalmente, otra de las grandes dificultades encontradas en ese estudio se fundamenta en la adopción del modelo particulado de la materia y el abandono del modelo continuo por

parte de los estudiantes, puesto que ellos atribuyeron características macroscópicas de un material a sus partículas.

Sin embargo pese a todas las dificultades citadas por Gkitzia, Salta, & Tzougraki (2020), estos investigadores consideran que los estudiantes participantes de su estudio se encuentran en un proceso de transición de la visión macroscópica hacia la visión de las partículas de la materia. Por lo tanto, en la discusión de los resultados y conclusiones de ese estudio es remarcable la complejidad en la traducción de conceptos en los distintos niveles de representación en química, representando dicha tarea todo un desafío para los estudiantes.

Con respecto a trabajos relacionados con las representaciones en química bajo el concepto del enlace químico, Rery, Copriady, Alimin, & Albeta (2019) centran su estudio con el propósito de observar la comprensión de los estudiantes sobre los enlaces químicos utilizando el concepto de mapas de flujo basados en el género. Con base en los resultados del estudio, se puede concluir que el pensamiento crítico de los estudiantes para comprender el concepto de enlaces químicos sigue siendo muy bajo además de ser un obstáculo para moverse en los diferentes niveles de representación.

Las investigaciones anteriores demuestran que independientemente del concepto en el que se desarrolle la enseñanza de la química, a los alumnos se les dificulta la comprensión de estos niveles, por ende, se han venido implementando estrategias didácticas para mejorar el obstáculo antes citado en los estudiantes, por ejemplo Fitriani, Suhartono, & Mugiarti (2019) proponen el uso de la tecnología para la simulación de moléculas en 3D mediante realidad aumentada en el tema de enlaces químicos, resaltando la difícil comprensión para los alumnos en virtud de que es un concepto de ámbito submicroscópico. Los resultados de este estudio, pueden demostrar que los medios de aprendizaje de realidad aumentada demuestran buenos resultados y son dignos de ser utilizados como medios de apoyo en actividades de aprendizaje químico en el tema de los enlaces químicos favoreciendo la comprensión submicroscópica de este.

En este mismo orden, la propuesta investigativa de Fauzi, Farida, Sukmawardani, & Irwansyah (2019) tiene como objetivo generar productos de material didáctico en forma de módulos electrónicos con pasos de aprendizaje de consulta sobre el concepto de enlace químico con capacidad de representación orientada (macroscópica, submicroscópica y simbólica) y descubrir la viabilidad basada en las respuestas de expertos y estudiantes encuestados. La validación del contenido y los aspectos de visualización se llevó a cabo mediante la consideración de tres expertos. Demostrando resultados importantes en cuanto a los altos valores de factibilidad, indicando que el módulo electrónico que ha sido factible de usar dando buenos resultados para la comprensión de los diferentes niveles de representación.

Las presentes investigaciones de corte internacional abren las posibilidades de seguir abordando más sobre los niveles de representación de la química y continuar aportando información con relación a dichos niveles y al enlace químico en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la química.

5.2 ANTECEDENTES NACIONALES

A partir de la búsqueda de las fuentes académicas consultada se ha podido establecer que dentro de la literatura hallada a nivel nacional fueron encontradas escasas investigaciones que relacionen los niveles de representación con el aprendizaje del enlace químico, sin embargo existen investigaciones que realizan importantes precisiones acerca de la enseñanza de la química mediante los niveles de representación y por otra parte, otras investigaciones documentan acerca de la enseñanza del enlace químico.

En este sentido es necesario citar el documento de investigación publicado por Vallejo (2017) cuyo propósito era posibilitar en los estudiantes el establecimiento de relaciones explicativas entre los tres niveles de representación de la química. En el documento citado se encontró finalmente que los estudiantes presentan dificultades de tipo conceptual en cuanto al uso y manejo adecuado de algunos conceptos básicos de la química, dificultades y confusiones en el manejo de la simbología y nomenclatura química;

así como la poca consciencia del mundo microscópico, pese a ello reportó avances en las relaciones explicativas en los tres niveles de representación en alrededor de un 20 a 25% de los estudiantes y el 90% de los estudiantes dentro del ámbito macroscópico lograron definir de manera fenomenológica el concepto de reacción química.

Por otra parte, la investigación presentada por Prieto (2019) cuyo objetivo era el determinar el efecto de la estrategia múltiple representación en química en la construcción de representaciones alrededor de los átomos y moléculas de estudiantes con diferente estilo cognitivo mostraron en sus resultados que esta estrategia tuvo efecto positivo en el grado sexto mejorando los niveles representacionales de los estudiantes respecto a la representación del átomo y la molécula mediante palabras y formas principalmente.

También, se determinó que el uso de ciertas imágenes en la enseñanza favorece la movilidad entre los niveles representacionales. Se evidenció una posible relación del estilo cognitivo con los niveles representacionales. Adicionalmente, en algunos sujetos de estudio de este informe se reportaron respuestas con mayor tendencia hacia la explicación macroscópica del comportamiento de la materia en comparación con el nivel submicroscópico.

Con respecto a los estudios realizados sobre la enseñanza de enlace químico, la investigación realizada por Alarcón Rodríguez (2017) relaciona la enseñanza de este concepto con el uso de un modelo didáctico analógico, cuyo propósito se fundamenta en establecer la importancia de transformar el discurso de la química en el aula frente a las explicaciones del concepto “enlace químico” y construir formas de significar propias de los modelos de la química, promoviendo la construcción conceptual desde la epistemología por parte de los estudiantes.

La citada investigación de Alarcón Rodríguez (2017) evidenció como principal logro el conocimiento del proceso de modelación por parte de los estudiantes, a su vez permitió que estos reconocieran a los modelos como representaciones de un objeto, idea, basados en analogías que se construyen contextualizando cierta porción del mundo con un objetivo específico, y que la química está fundamentada en la construcción de modelos para

poder representar y explicar su objeto de estudio; por tanto, estos modelos no se deben considerar como realidades, sino, como una herramienta didáctica para comprender el mundo.

6 REFERENTE TEÓRICO

Para empezar es necesario precisar los conceptos y las aportaciones asociadas a las categorías investigativas, los modelos metodológicos didácticos y los discursos asociados con la construcción conceptual del componente de la química en esta investigación; la categoría principal, niveles de representación, posee un sustento teórico y conceptual que proporciona elementos y criterios de aplicación en la enseñanza de esta ciencia a partir de las disertaciones expuestas por los autores presentados para cada nivel de representación (macroscópico, submicroscópico y simbólico); posteriormente, se referencia el marco conceptual del modelo didáctico analógico empleado en la construcción de la unidad didáctica, mostrando de este modo paso a paso el desarrollo de la estrategia sugerida por los autores; finalmente, se reseñan algunos discursos epistemológicos y concepciones alternativas relacionadas al concepto de enlace químico.

6.1 NIVELES DE REPRESENTACIÓN

Johnstone (1982) propuso para la enseñanza de la química tres niveles de representación: el macroscópico, el submicroscópico y el simbólico (Johnstone, 1991); el primer tipo de representación busca representar fenómenos como experimentados con los sentidos (o extensiones de los sentidos); el segundo busca apoyar una explicación cualitativa de esos fenómenos, mientras que el tercero busca apoyar una explicación cuantitativa de esos fenómenos (Gilbert & Treagust, 2009). Una definición aportada por Johnstone (1982, 1993) que aclara aún más esta perspectiva nos muestra que:

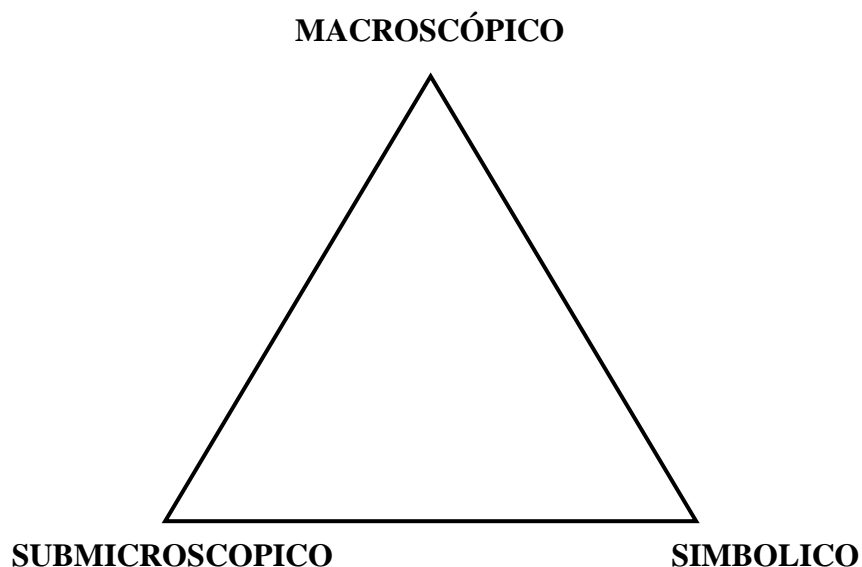
El *nivel macroscópico*, que comprende sustancias químicas tangibles y visibles, que pueden o no formar parte de las experiencias diarias de los estudiantes.

El *nivel submicroscópico*, que comprende el nivel de partículas, que se puede usar para describir el movimiento de electrones, moléculas, partículas o átomos.

El *nivel simbólico*, que comprende una gran variedad de representaciones pictóricas, formas algebraicas y computacionales (Chittleborough, 2004, p. 17).

De esta manera los fenómenos pueden ser estudiados en multiniveles siendo el nivel macroscópico de cierta forma el más cercano a la realidad, puesto que es percibido con los sentidos, el submicroscópico se apoya en simulaciones y estudios por medio de aparatos y artefactos de alta tecnología (como el microscopio electrónico, el acelerador de partículas, etc) y el simbólico es el más representacional y modelizado de todos al construir un lenguaje lleno de símbolos que pretenden explicar un fenómeno.

Figura 1. Niveles de representación propuestos por Johnstone (1991).



Es así como, por ejemplo, para el caso particular del estudio de los enlaces químicos, se pueden observar fenómenos que evidencian reacciones químicas donde puede existir formación o destrucción de enlaces que se pueden asociar a cambios en el color de una sustancia, desprendimiento de gases, cambios en la temperatura o formación de

precipitado obedeciendo en este caso esta clasificación a los fenómenos del ámbito macroscópico.

En el ámbito submicroscópico existen formas de representar la formación de enlaces químicos por medio de diagramas de partículas (sobre todo diagramas de electrones, pues representan la parte funcional de los enlaces) y por último en el nivel simbólico los enlaces químicos se representan utilizando figuras y letras para simbolizar los elementos con los electrones de valencia unidos dentro del enlace químico, en este caso, es válido mencionar para este nivel los diagramas de Lewis muy útiles para la representación de algunos tipos de enlace.

En el presente trabajo investigativo, la manera de abordar los tres niveles de representación en el aula se resume en la propuesta de Barke (1997) quién estableció que, en el proceso de aprendizaje las tres esquinas (del triángulo de Johnstone) deberían enseñarse una después de la otra: primero el tipo macro, después los modelos estructurales tipo submicro y finalmente los símbolos químicos en el tipo simbólico (Savec, Sajovic, & Wissiak Grm, 2009).

6.1.1 Nivel De Representación Macroscópico

La química se considera una ciencia experimental y como tal el trabajo práctico desempeña un importante papel. La asociación de las prácticas de laboratorio con el nivel macroscópico se establece porque este nivel de representación ha sido definido como real, tangible, cuantitativo y visible (Davidowitz & Chittleborough, 2009). Las actividades de laboratorio tienen la clara ventaja de comprometer tanto el psicomotor de los estudiantes como los dominios cognitivos del aprendizaje. Comienzan con el empleo de habilidades motoras simples y proceder a sofisticadas habilidades de proceso (Tsaparlis, 2009).

Sin embargo, los maestros frecuentemente se quejan de que los estudiantes adoptan un enfoque de receta, no pueden llevar a cabo los procedimientos experimentales de manera adecuada y no entienden el propósito de los procedimientos experimentales. Encuentran que los estudiantes rara vez piensan por sí mismos y, a menudo, recurren a pedirles ayuda a los maestros para realizar los experimentos, registrar observaciones y darles sentido. Los

estudiantes, ellos mismos, estuvieron de acuerdo en que tenían poca idea de lo que estaban haciendo durante el trabajo práctico, y estaban más interesados en obtener los resultados correctos que en comprender los procedimientos y las reacciones involucradas (Tan, Goh, Chia, & Treagust, 2009).

Tsaparlis (2009) con respecto al trabajo experimental, realiza algunas recomendaciones y desde su postura se orientó conceptualmente el nivel de representación macroscópico en la presente investigación: se debe tener en cuenta que las prácticas no solo deben ser de carácter expositivo tipo “receta de cocina sino también debe promover la investigación en el aula, igualmente incluir componentes motivacionales que despierten el interés en los estudiantes.

Tomando en cuenta los elementos que componen el nivel macroscópico, y siguiendo con la perspectiva enunciada por Tsaparlis (2009) quien defiende la simplicidad de los conceptos y técnicas empleadas durante el trabajo práctico y le da una particular importancia a las demostraciones, puesto que, en una demostración el maestro tiene el control y puede centrar la atención en las observaciones relevantes (Johnstone & Al-Shuaili, 2001) y las demostraciones también pueden formar la base para proporcionar una técnica más amplia para la evaluación del aprendizaje (Bowen & Phelps, 1997). Se ajustará la conceptualización del nivel macroscópico asociado al enlace químico en un trabajo experimental demostrativo, partiendo del contexto de los estudiantes.

6.1.2 Nivel De Representación Submicroscópico

El nivel submicroscópico de los químicos se refiere al mundo de los átomos y sus derivados; iones y moléculas. Este es un mundo inobservable, accesible solo por la imaginación. La imaginación es un componente clave de los avances en química en el nivel de investigación, así como de la comprensión de los estudiantes que su significado no puede ser subestimado, y haríamos bien en elevar la conciencia de nuestros estudiantes para que puedan tratar de desarrollarse sus habilidades de visualización (Bucat & Mocerino, 2009).

En la comprensión de este nivel “invisible o intangible” se han sugerido el uso de diagramas para desarrollar una imagen mental en los estudiantes que representen el nivel particulado y molecular de la materia (Davidowitz & Chittleborough, 2009), con el fin de ilustrar este nivel basado en la teoría de partículas de la materia, utilizada para explicar los fenómenos macroscópicos en términos del movimiento de partículas como electrones, moléculas y átomos (Treagust et al., 2003). En particular, los diagramas se utilizan para representar la información química, para ayudar a describir una idea, dar una explicación, presentar una imagen visual, para hacer predicciones, deducciones, motivar y formar hipótesis. Su información puede ser estática o dinámica, bidimensional o tridimensional, de una sola partícula versus múltiples partículas.

Los diagramas utilizados en química el nivel sub-micro incluye representaciones de lo molecular, atómico y subatómico (Cutrera & Stipcich, 2016). Por ende, en este nivel de representación el grado de comprensión de la química por parte de los estudiantes depende de su habilidad para “dar sentido a lo invisible y lo intocable” (Kozma & Russell, 1997).

Otro aspecto importante dentro de la comprensión del nivel submicroscópico es el uso del lenguaje para explicar fenómenos invisibles al ojo humano, en este sentido los jóvenes estudiantes de la química pueden caer en el uso de un lenguaje poco riguroso donde atribuyen características y sentimientos humanos a ciertas partículas como los átomos (Taber & Watts, 1996). Por ello la estilización y refinamiento de los términos empleados para fundamentar aquello que es observable en un nivel particulado adquiere vital importancia cuando se trata de dar un carácter científico a un discurso (Lemke, 1990), en este caso concreto al establecer una relación entre los niveles macroscópico y submicroscópico.

En dicha relación también puede presentarse la atribución de características y propiedades generales de las sustancias a los átomos, como por ejemplo, un átomo de cobre puede verse por muchos de estos estudiantes, como una pequeña pieza de metal sólido, mientras que un átomo de mercurio puede significar una pequeña gota del líquido (Ben-Zvi,

Eylon, & Silberstein, 1986); este es sin duda un obstáculo factible dentro de la comprensión del nivel submicroscópico de la materia.

Para el desarrollo de la presente propuesta investigativa, se tendrán en cuenta tanto el desarrollo como la interpretación de diagramas propios del nivel submicroscópico y que se relacionan con el concepto de enlace químico atendiendo las recomendaciones sobre las implicaciones en la enseñanza que tiene su utilización por parte de (Davidowitz & Chittleborough, 2009):

Use múltiples diagramas químicos, requerir a los estudiantes que construyan diagramas del nivel submicro y proporcionar andamios para desarrollar competencias; el nivel submicro, tiene enlaces al nivel macroscópico para hacer que la representación sea real y para proporcionar un contexto, y presenta ángulos, tamaños, colores para obtener detalles precisos de la representación. (p.187)

Las anteriores recomendaciones resultan de gran utilidad en la comprensión del nivel submicroscópico que como ya se ha definido ampliamente comprende el nivel de representación de la materia invisible, por lo tanto este hecho sustenta el empleo de diagramas para representar la estructura y el comportamiento de las partículas que intervienen en la ocurrencia de los enlaces químicos, es por ello que su utilización podría significar el andamiaje necesario hacia una mejor comprensión conceptual del enlace químico por parte de los estudiantes.

6.1.3 Nivel De Representación Simbólico

Este nivel implica la asignación de símbolos para representar átomos, ya sea de un elemento o de grupos de varios elementos vinculados; de señales para representar carga eléctrica; de subíndices para representar el número de átomos en un ion o molécula individual; de letras para indicar el estado físico de la entidad (Gilbert & Treagust, 2009).

En este sentido, el nivel de representación simbólico posee un lenguaje desconocido para los principiantes en el aprendizaje de la química; puesto que para dominar esta nueva

“lengua” se requiere una base sólida de saberes previos como lo establecen las corrientes constructivistas. El grado de abstracción es alto para poder vincular toda la simbología presente en este nivel con los niveles macroscópico y submicroscópico (Taber, 2009).

El empleo del nivel simbólico en la enseñanza del enlace químico será abordado desde los aspectos del dominio del lenguaje de la química, el uso de símbolos y la interpretación de los mismos. En este orden de ideas Taber (2009) establece que:

Los símbolos y la gramática del lenguaje de la química están estrechamente ligados a sus principios conceptuales básicos, es probable que los estudiantes de química aprendan a desarrollar fluidez en el lenguaje de la química a medida que aprenden el tema a través del lenguaje. Puesto que no entender las sutilezas del lenguaje simbólico hace que sea difícil aprender las ideas. No entender las ideas, o tener concepciones alternativas para conceptos químicos básicos, hace que sea fácil malinterpretar lo que se representa a través del lenguaje. (p.101)

Con respecto a esta postura es fundamental comprender que la química utiliza un lenguaje único y el dominio conceptual de esta ciencia depende en gran parte de conocer y aprehender este lenguaje constituido ampliamente por símbolos dentro de ecuaciones y otras representaciones, es por ello que introducir a los estudiantes en el aprendizaje de esta “nueva lengua” se configura como uno de los propósitos implícitos de la presente investigación desde el ámbito conceptual del enlace químico.

6.2 LAS ANALOGÍAS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Desde hace tiempo se ha venido discutiendo y aceptando el papel de las analogías por educadores y psicólogos en la enseñanza de las ciencias y en cuestiones de la vida cotidiana (Aragón & Oliva, 2020; Duit, 1991; Harrison & Treagust, 1993; Holyoak & Thagard, 1989; Oliva & Aragón, 2017). Parece ser que ambos campos han establecido un común acuerdo conceptual sobre una analogía, aunque hay opiniones distintas acerca de cómo se representa una analogía, es decir, cómo se identifican las semejanzas entre lo “conocido” y lo desconocido”.

Se han establecido definiciones de una analogía como una comparación que involucra la alineación y el mapeo de estructuras relacionales entre dos dominios (Gentner, 1983; Gentner & Markman, 1997). Uno de ellos, llamado la base (Gentner, 1983) o la fuente (Holyoak & Thagard, 1989), es familiar para el investigador, mientras que el otro, llamado el objetivo (de todos los autores), es parcial o totalmente desconocido.

Para Duit (1991), es una comparación de estructuras y/o funciones entre dos dominios: un dominio conocido y un dominio nuevo o parcialmente nuevo de conocimiento. Por tanto, al hacer un razonamiento analógico hay que considerar los elementos que constituyen la analogía como son el análogo que es el núcleo central de la analogía que representa el mensaje, el conocimiento ya conocido, la trama o relación analógica que es el conjunto de relaciones que se establecen para comparar características semejantes de determinadas partes del análogo y del tópico, este último representa los contenidos conceptuales, procedimentales y/o actitudinales desconocidos, que se pretenden enseñar; es decir, el conocimiento o conjunto de conocimientos de la materia en estudio (Raviolo & Garritz, 2007a).

Figura 2. Estructura de una analogía



Fuente: Fernández González, Moreno Jiménez, & González González (2003)

Desde las ciencias cognitivas Sierra Díez (1995) estableció que una analogía es:

El procedimiento cognitivo que consiste en recurrir a un dominio de conocimiento para conocer o comprender mejor otro dominio total o parcialmente desconocido. Es decir, la analogía es un procedimiento que permite transferir conocimiento de unas áreas a otras, y que se pone en funcionamiento básicamente ante situaciones nuevas, parcial o totalmente desconocidas. Este procedimiento desempeña diferentes papeles en el sistema cognitivo humano: se utiliza en tareas de lenguaje, para favorecer la comprensión; en tareas de aprendizaje, para adquirir nuevos conceptos; en tareas de creatividad, para generar nuevas ideas, y en tareas de razonamiento, para resolver problema. (p. 179)

Así que, en toda analogía existen dos componentes (Godoy, 2002; Lawson, 1994), la *información analógica* y la *información científica*. Esta última es el objeto de conocimiento abstracto y complejo que se desea sea incorporado como aprendizaje. La característica fundamental de una información analógica debe ser que utiliza conceptos y situaciones que tienen un claro referente en la estructura cognitiva de los estudiantes (Galagovsky & Adúriz Bravo, 2001).

Podemos decir, que las analogías son un recurso metodológico clave del proceso de enseñanza y aprendizaje, el cual se convierte en una herramienta del lenguaje que permite a los estudiantes acercarse al conocimiento científico. Además, como un recurso importante en la enseñanza de las ciencias permite usarse como estrategia didáctica de modelización en el aula de clase permitiendo llevar al estudiante desde su sentido común hacia una aproximación del conocimiento científico estableciéndose comparaciones o relaciones de conceptos, fenómenos o procesos conocidos para los alumnos con contextos desconocidos para ser anclados cognitivamente en estudiante, es decir, llevándolo al aprendizaje. Ante lo planteado, la analogía se convierte en un modelo didáctico que permitirá acercar al estudiante a la comprensión del conocimiento científico, así que, el uso de modelos analógicos en el proceso de enseñanza y aprendizaje resultan ser fundamentales para la trasposición didáctica, convirtiéndose en un “dispositivo de la ciencia escolar” (Galagovsky & Adúriz-Bravo, 2001, p. 12), y estos autores lo designan como modelo didáctico analógico (MDA).

En la enseñanza de las ciencias han surgido varios modelos analógicos que han presentado limitaciones o dificultades, algunos de ellos apuntan y sugieren secuencias para enseñar con analogías, tenemos: a la secuencia enseñanza con analogía TWA (Teaching with analogy) de Glynn (1991), la guía FAR: Foco, Acción y Reflexión de Harrison & Coll (2008), teniendo en cuenta los aportes de los anteriores autores, Raviolo & Garritz (2007) propusieron un decálogo sobre el uso de analogías en la enseñanza, también Galagovsky & Adúriz Bravo (2001) propone un MDA para la enseñanza en el cual se tiene en cuenta los procesos metacognitivos.

El Modelo Didáctico Analógico (MDA) constituye una estrategia original de enseñanza que implica la construcción activa por parte de los estudiantes, del dominio base de la analogía (Galagovsky & Adúriz Bravo, 2001; Haim, Cortón, Kocmur, & Galagovsky, 2003), construyen el análogo o base a partir de la cual se dará la evolución conceptual o reconstrucción de los conceptos científicos.

Según los autores (Adúriz-Bravo, Garófalo, Greco, & Galagovsky, 2005), el MDA se presenta bajo cuatro momentos para la enseñanza y aprendizaje:

Momento Anecdótico: Se utiliza una analogía en forma de juego, con distintas consignas para los alumnos, ellos se familiarizan con el análogo y utilizan diferentes estrategias idiosincrásicas para resolverlas. En la puesta en común, el rol docente no es señalar respuestas correctas sino garantizar *la comunicación entre los diversos procedimientos abordados por los estudiantes*.

Momento de conceptualización sobre la analogía: es la búsqueda de consensos sobre cuáles fueron los conceptos fundamentales trabajados en la resolución del problema analógico. Se *negocian significaciones*, se introduce vocabulario preciso, se elabora conjuntamente un listado de elementos de la *información analógica* que, luego, tendrán su correspondencia con la *información científica* destino. Se arma una primera columna de la *tabla de correlación conceptual* (TCC).

Momento de correlación conceptual: Los estudiantes deben procesar la *información científica* encontrándole significado y comprensión por comparación con los significados ya aprendidos para la *información analógica*. Ellos completan la TCC.

Momento de la Metacognición: Tal como se fundamenta en el Modelo de Aprendizaje Cognitivo Consciente Sustentable (MACCS) (Galagovsky, 2004a, 2004b), la metacognición es fundamental para que los alumnos reflexionen y tomen conciencia sobre los conceptos nuevos que debieron incorporar y sobre los obstáculos que se les presentaron para abordar alguna o todas las consignas dadas. En el momento de la correlación conceptual discuten acerca de las limitaciones y alcances de la analogía que ellos logran percibir, desde sus estructuras cognitivas; este momento es transversal a los anteriores y también se lleva a cabo como una actividad final.

6.3 LAS ANALOGÍAS EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA

Plantear la enseñanza de la química a través de modelos analógicos es crucial para facilitar el aprendizaje de conceptos de esta área del conocimiento científico, ya que en química se han usado este tipo de modelos para la enseñanza de muchos conceptos, por ejemplo: los modelos con partículas (submicroscópicos) utilizados en los trabajos sobre el aprendizaje conceptual de la química (Nurrenbern & Pickering, 1987; Sawrey, 1990), el gas antropomórfico para energía interna y temperatura (Zamorano, Gibbs, Moro, & Viau, 2006), el modelo de cuadros y puntos para el concepto de concentración de disoluciones (Raviolo, Siracua, Gennari, & Corso, 2004), etc.

Adicionalmente, la modelización a través de analogías pretende desarrollar habilidades metacognitivas, comportamentales y científicas que fortalezcan la formación integral del alumno. Bajo este argumento resaltamos a Coll, France, & Taylor (2017) los cuales exponen:

Un trabajo interesante que viene a reforzar la idea de que la enseñanza – aprendizaje a través de modelos y analogías no sólo constituye una estrategia para favorecer el

aprendizaje en el ámbito conceptual, sino que también contribuye a otras facetas del aprendizaje como el desarrollo de una imagen más ajustada de cómo funciona la ciencia y, en relación con ello, de habilidades metacognitivas. Todo ello, al menos, cuando el aprendizaje, ya sea a través tanto de analogías como de modelos, es canalizada dentro de un entorno participativo e interactivo en el que los alumnos tienen la oportunidad de analizar, debatir, discutir y criticar los modelos mentales que, desde ellos, van elaborando. (p. 162)

Por otro lado, la modelización analógica busca la comprensión de conceptos abstractos, y la química es una de esas áreas con este tipo de conceptos y a la vez difíciles para los alumnos, de hecho un modelo analógico ayudaría dar explicación de un fenómeno químico desde diferentes niveles de representación de la química (Johnstone, 1982), partiendo de explicaciones descriptivas macroscópicas (Andersson, 1990), o en el mejor de los casos de carácter discontinuo submicroscópico en los que se proyectan propiedades y atributos del mundo macroscópico sobre el nivel atómico-molecular (Crespo & Pozo, 2004). Además de ello, poder representarlas a través de símbolos propios de esta área.

Las analogías y modelos analógicos se han convertido en una herramienta didáctica en potencia para la enseñanza y aprendizaje de la química, ya que muchas de las explicaciones a través de modelos han usados analogías para comprensión conceptual de un fenómeno químico, transformaciones y comportamiento de materia desde los niveles de representación macroscópico, submicroscópico y simbólico. Trabajar con analogías, favorece el desarrollo de habilidades cognitivas, metacognitivas, actitudinales y científicas, contribuyendo y potenciando un aprendizaje más estructurado partiendo de los modelos mentales iniciales que son la clave para la trasposición didáctica y el cambio conceptual.

6.4 EL ENLACE QUÍMICO

El enlace químico es uno de los conceptos más importantes en la enseñanza de las ciencias, además, este permite la comprensión de muchos fenómenos que suceden en otros campos de las ciencias como la química, la biología, la geología, dando explicación a las diferentes propiedades que experimenta la materia.

Adicional a esto, Gagliardi, R & Giordan (1983) resaltan la importancia de la historia y la epistemología en la enseñanza de las ciencias exponiendo que:

La historia de las ciencias puede permitir definir cuáles fueron los conceptos estructurantes presentes en los momentos de profunda transformación de una ciencia. Conocerlos puede ser una forma de determinar los conceptos estructurantes en la enseñanza. Al mismo tiempo la historia de las ciencias puede ser ella misma un tema de enseñanza, no como una parte de la historia, sino también como una parte importante de una discusión sobre el conocimiento, para mostrar que los conocimientos científicos actuales no son <<verdades eternas>> sino construcciones realizadas en un contexto social definido. (p. 254)

Ante esto, la enseñanza de las ciencias se ha visto bañada del enfoque tradicional que ha permeado la comprensión profunda de los conceptos y las teorías científicas sin tener en cuenta el origen histórico, el contexto sociocultural y los distintos avances de la ciencia que permitieron la evolución conceptual de los mismos.

A lo largo de toda la historia se han ido esbozando los modelos que hoy conocemos de enlace químico (González-Felipe, 2017; Muñoz Galván, 2010). Sin embargo, la revisión histórica y epistemológica en la enseñanza contribuye a reforzar los vacíos conceptuales de los docentes y superar las dificultades evidenciadas en estudiantes en la comprensión del concepto, ya que el enlace químico es un concepto de difícil abstracción con teorías y modelos científicos relacionado a los tipos de uniones que existen en las diferentes sustancias que dan cuenta de las interacciones interatómicas e interacciones electrostáticas entre moléculas.

Por tal razón, la química utiliza modelos científicos para la explicación de los diferentes fenómenos que suceden en diferentes procesos químicos que se dan en la naturaleza y, que necesitan ser validados por la comunidad científica para luego ser llevado al campo de la educación para su respectiva enseñanza. Dado a esto, el concepto de modelo está recibiendo una mayor atención en la epistemología, a raíz, entre otras cosas, de las investigaciones específicas en psicología del aprendizaje, ciencia cognitiva y didáctica de las ciencias, que lo han señalado como un concepto poderoso para entender la dinámica de

la representación que tanto científicos como estudiantes se hacen del mundo (Izquierdo, Sanmartí, & Espinet, 1999).

Sin embargo, el concepto del enlace químico ha generado dificultades de tipo epistemológicas en los estudiantes, las cuales se ven reflejadas a la hora de interpretar los diferentes modelos del enlace químico que se presentan en el proceso de enseñanza y aprendizaje (González-Felipe, 2017). Este tipo de dificultades son conocidas como *concepciones alternativas*, las cuales son en ideas que tienen los estudiantes con relación a un concepto y que están en desacuerdo con lo que actualmente se acepta en la comunidad científica. Sin embargo, hay estudios que denotan un gran número de concepciones alternativas derivadas del enlace químico (Coll & Taylor, 2001; De Posada, 1999; Özmen, 2004; Riboldi, Pliego, & Odetti, 2004) en diferentes niveles de escolaridad.

Según Fernandez & Marcondes (2006), las principales dificultades implican: confusión entre enlace iónico y covalente; conceptos antropomórficos acerca de los átomos; uso de la regla del octeto indiscriminadamente como principio explicativo para la formación de los enlaces químicos; ideas equivocadas sobre geometría molecular y concepto de polaridad; conceptos erróneos sobre las energías asociadas a la destrucción o la formación de enlaces químicos; representaciones inadecuadas de los enlaces químicos. Además de estas dificultades, también se evidencia la incapacidad de relacionar estos conceptos con los tres niveles de representación del conocimiento químico, macroscópico, submicroscópico y simbólico (Fernandes, Fernandes, & Marcelino, 2010; Nicoll, 2001).

7 METODOLOGÍA

7.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo describe el proceso y diseño metodológico que se llevó a cabo; se presenta el tipo de investigación elegida, el diseño de la investigación, el contexto investigativo, las categorías de análisis, al igual que los instrumentos diseñados para la recolección de los datos; se explica el procedimiento que permitió codificar y analizar la información, mediante la triangulación de los datos, provenientes de diversas fuentes. Finalmente se presentan los criterios teóricos y metodológicos que orientaron el diseño y la aplicación de la unidad didáctica, como un modelo de instrucción para la enseñanza y el aprendizaje del enlace químico que potencie la comprensión de los diferentes niveles de representación de la química.

7.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Este proyecto de investigación metodológicamente se enmarcó en el ámbito de la investigación cualitativa de corte descriptivo, teniendo en cuenta que la pregunta de investigación, así como los objetivos de estudio están centrados en la categoría principal, niveles de representación, que describe al fenómeno o conceptos relacionados con el enlace químico y, por consiguiente, tales descripciones permitieron ser elemento de análisis lo que permitió dar sentido al fenómeno observado a partir de la información obtenida. Lo cual no desencadenó en generalizaciones construidas a partir de los datos obtenidos, por el contrario, a partir de la interacción sujeto objeto se obtienen datos que permiten elaborar una descripción de lo estudiado en forma individualizada (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2015), en cuanto pretende dar razón de los cambios en los niveles de representación de la química de los estudiantes con relación al concepto del enlace químico.

Para este trabajo se realizó un instrumento de indagación inicial debidamente planificado para indagar las ideas previas de los estudiantes en relación al concepto y los niveles de representación y un instrumento final después del proceso de intervención

didáctica con el propósito de establecer los diferentes cambios en el aprendizaje respecto a los niveles de representación.

7.3 POBLACIÓN Y CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

La población para este estudio fue determinada por estudiantes del grado décimo de las Instituciones Educativas de Candelaria Hacienda y San Anterito ubicadas en zona rural de municipio de Lorica, Córdoba, cuyas edades oscilan entre los 14 y 17 años; se encuentran matriculados en total 43 alumnos en estos dos grupos⁴ tomados como muestra de estudio en ambas instituciones. La I.E. Candelaria Hacienda cuenta aproximadamente con 516 alumnos, mientras que la I.E. San Anterito su matrícula actual es aproximadamente de 540 alumnos. Para ambas Instituciones, estos se encuentran distribuidos en la sede Principal y sedes auxiliares que se encuentran bastante dispersas y en condiciones de difícil acceso, principalmente en temporada de invierno.

Las dos instituciones se encuentran ubicadas geográficamente en la margen izquierda del río Sinú del municipio de Santa Cruz de Lorica, cuyo nivel socioeconómico se encuentra en el estrato 1. La mayoría de los pobladores se dedican a labores del campo donde ganan el sustento diario, siendo la agricultura la mayor fuente económica de las familias y el cultivo de plátano se convierte en la principal cosecha agrícola de mayor producción, además, la ganadería es otro sustento económico para las familias más acomodadas de esa zona. Cabe resaltar que la mayoría de las familias que hacen parte de ambas Instituciones reciben apoyo del gobierno en el plan de Familias en Acción. Los padres de familia y la mayoría de los pobladores de esta zona presentan bajo nivel de escolaridad de la básica primaria incompleta, algunos han terminado la primaria y la secundaria. Son muy escasos los pobladores con estudios técnico, tecnológico o universitario.

⁴ 23 alumnos de 10°- 01 de la I.E Candelaria Hacienda y 20 alumnos de 10°- 02 de la I.E. San Anterito

En la investigación, estos grupos de trabajo se buscó conocer los niveles de representación de la química de los estudiantes a través del uso de analogías antes y después de la intervención didáctica, a través de la contextualización de las clases de ciencias naturales⁵ en el área de química mediante el proceso de enseñanza y aprendizaje del enlace químico. Durante la aplicación de la unidad didáctica, se recolectó la información requerida a través de aplicación de instrumentos previamente diseñados para el propósito de este trabajo.

7.3.1 Unidad De Trabajo

La unidad de trabajo contó con la participación de 4 estudiantes⁶ en la intervención didáctica a los que se le aplicó el instrumento inicial como el instrumento final, para el análisis se tuvo en cuenta los registros de 2 estudiantes que representan las características heterogéneas de la población, tal y como lo sugiere Deslauriers (2004), los cuales se seleccionaron teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Estudiantes con actitud positiva frente al estudio y a las clases de química.
- Disponibilidad de recursos tecnológicos por parte del estudiante para desarrollar las actividades y mantener comunicación con los investigadores durante el período de emergencia social y distanciamiento obligatorio debido a la pandemia por COVID – 19.

Una vez terminada la intervención se seleccionaron aleatoriamente a los dos estudiantes que hicieron parte de la unidad de trabajo.

⁵ Asignatura con una intensidad horario de 4 horas semanales en ambas Instituciones Educativas

⁶ Debido a las dificultades de trabajo en pandemia, se seleccionaron 4 estudiantes de las instituciones focalizadas para el trabajo investigativo.

7.4 CONSIDERACIONES ÉTICAS

La presente investigación se desarrolló con estudiantes bajo consideraciones éticas en investigaciones con seres humanos, involucrando fuentes documentales primarias y/o secundarias que garanticen los principios éticos básicos de: principio de beneficencia, principio de justicia, principio de respeto, los cuales deberán estar en concordancia con el Derecho Internacional de los Derechos Humanos (DIDH).

En el tratamiento de datos personales se adoptaron mecanismos para garantizar la confidencialidad y custodia de la información recabada. Todo ello amparado en lo reglamentado en la Ley Estatutaria⁷ 1581 de 2012, Decreto 1377 de 2013 y Resolución de Rectoría No. 1227 de agosto 22 de 2013⁸, sobre el tratamiento de datos personales. Además, bajo la regulación internacional según el reporte de Belmont⁹ relacionada con los aspectos éticos que apliquen al proyecto.

Dado lo anterior, se estableció un consentimiento informado a los padres de familia que dé cuenta de la intención o propósito del proyecto de investigación, de los principios básicos éticos, tratamiento de datos personales y manejo de la información, y el respectivo permiso de participación en el proyecto de investigación, del cual será firmado por el padre de familia y alumno.

7.5 DISEÑO METODOLÓGICO

En esta investigación cualitativa sobre los cambios en los niveles de representación de los estudiantes a través del uso de analogías durante el aprendizaje del enlace químico, se diseñó una unidad didáctica (UD) e instrumentos de recolección de información, que

⁷ Ley Estatutaria 1581 del 17 octubre de 2012 del Congreso de la República de Colombia, por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales.

⁸ Decreto 1377 del 27 junio de 2013 de la Presidencia de la República de Colombia, por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 1581 de 2012.

⁹ Reporte de Belmont, Disponible en español:

<http://www.uis.edu.co/webUIS/es/investigacionExtension/comiteEtica/normatividad/invSeresHumanos.html>

permitieron establecer los cambios en los niveles de representación propuestos por Johnstone (1982), el cual se desarrolló en las siguientes fases (Figura 3):

Fase 1: Se llevó a cabo la revisión bibliográfica y presentación de la propuesta de investigación.

Fase 2: se diseñó herramientas que permitieron la recolección de información como el instrumento inicial e instrumento final para la caracterización de los niveles de representación en los estudiantes.

Fase 3: se validó con dos expertos en el área de la química el instrumento inicial y luego se aplicó con 4 estudiantes de las instituciones educativas focalizadas el rango de edad y nivel educativo como parte del pilotaje.

Fase 4: se aplicó el instrumento de diagnóstico inicial para la determinación y categorización inicial de los niveles de representación de los estudiantes.

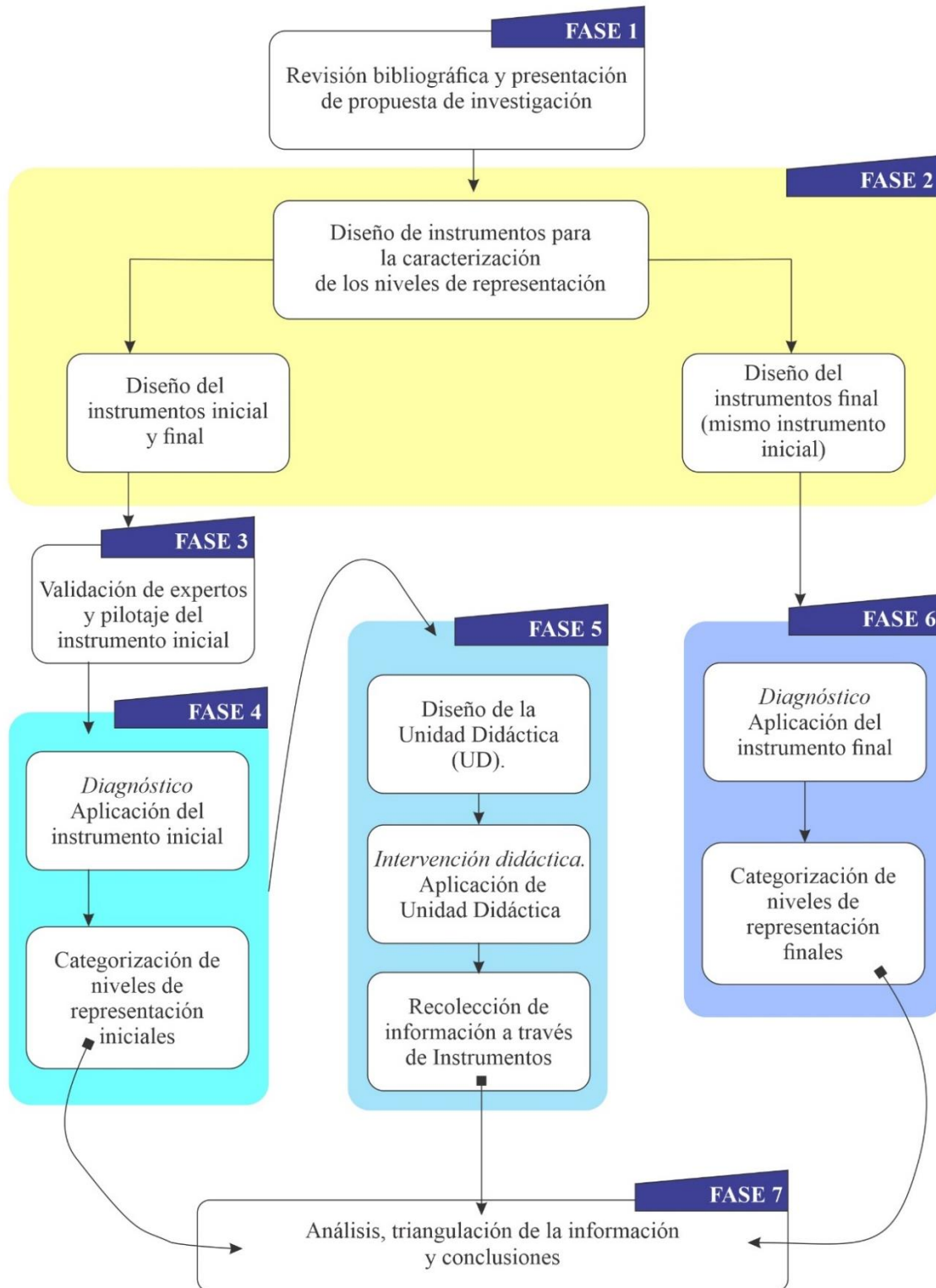
Fase 5: se diseñó y aplicó la Unidad Didáctica (momento de intervención didáctica) y recolección de información.

Fase 6: se aplicó el instrumento final para determinar los cambios en los niveles de representación con relación a los obtenidos en el instrumento inicial de los estudiantes, con el propósito de verificar el efecto de la estrategia didáctica.

Fase 7: se recolectó, analizó y trianguló la información para establecer conclusiones y recomendaciones.

La información suministrada por las pruebas (instrumento inicial e instrumento final) permitió la caracterización de los niveles de representación a partir del uso de las pruebas, además la comparación de los dos grupos de resultados de la fase inicial y final permitió evidenciar el cumplimiento de los objetivos, el impacto de la estrategia aplicada y el grado de evolución de los cambios de los niveles de representación de la materia relacionada al concepto del enlace químico.

Figura 3. Diseño metodológico.



Fuente: Creación propia®.

7.6 MODELO DE INTERVENCIÓN: LA UNIDAD DIDÁCTICA

Para potenciar los niveles de representación a través del aprendizaje del enlace químico mediante el empleo de un modelo didáctico analógico, se diseñó una unidad didáctica que fue aplicada durante la intervención didáctica en el aula.

Fundamento Teórico 3

Este trabajo de investigación presentó un momento de intervención dentro del aula que se fundamentó a través del desarrollo de una unidad didáctica (UD) sobre el concepto del enlace químico, donde el estudiante explicó diferentes fenómenos que están relacionados bajo el concepto a trabajar desde los diferentes niveles de representación utilizados en la química. Ante lo expuesto, es importante poner de manifiesto los sustentos teóricos que soportan el diseño de unidades didáctica en la enseñanza de las ciencias.

Muchos autores han promovido el desarrollo de unidades didácticas para la intervención en el aula (Álvarez Tamayo, 2013; Blanco Sanchez & Varcárcel Pérez, 1993; Caamaño, 2013; Couso, 1994; Sanmartí, 2000; Tamayo Alzate et al., 2011) etc. El propósito fundamental del diseño y experimentación de unidades didácticas ha estado enlazado continuamente a la construcción de materiales que integren una guía de perspectivas teóricas sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje, de visiones epistemológicas sobre la naturaleza del conocimiento o de perspectivas socioeducativas: enseñanza por descubrimiento orientado o por descubrimiento autónomo; enseñanza basada en conceptos o en procesos; enseñanza para el cambio conceptual; enseñanza basada en la indagación, en la resolución de problemas, en la modelización; enfoque ciencia-tecnología-sociedad, enseñanza en contexto, etc (Caamaño, 2013).

Los investigadores en ciencias cognitivas por ejemplo Tamayo Alzate et al (2011), hacen énfasis en los componentes esenciales que debe contener una unidad didáctica como son las ideas previas, historia y epistemología, múltiples modos semióticos y TIC, reflexión metacognitiva y evolución conceptual. Adicional a esto, en el diseño de unidades didácticas ha estado asociado a dos dimensiones según Méheut & Psillos (2004), *la dimensión didáctica* que se relaciona con los procesos de enseñanza y aprendizaje y *la dimensión epistemológica* que se relaciona el conocimiento científico o sus versiones escolares y el mundo, es decir cómo se genera el conocimiento científico.

Otro aspecto determinante en el diseño de unidades didácticas son los criterios para organizar y secuenciar los contenidos que permitan minimizar los errores en la enseñanza, ya que cualquier propuesta se convierte en una hipótesis de trabajo, así que el profesor debe tomar la decisión de diseñar su UD partiendo de criterios, como los establecidos por Sanmartí (2000).

Para la enseñanza del enlace químico, Caamaño (2016) propone el diseño de una unidad didáctica teniendo en cuenta como se debería enseñar los niveles de representación partiendo primero del nivel macroscópico, luego el nivel submicroscópico y finalmente el nivel simbólico. Ante esta propuesta, este trabajo de investigación tomará como referente para el desarrollo de la secuencia conceptual y de los niveles de representación expuestos por dicho investigador.

Para el diseño de la unidad didáctica se tuvo en cuenta el modelo didáctico analógico propuesto por los autores (Adúriz-Bravo et al., 2005), este MDA se presenta bajo cuatro momentos para la enseñanza y aprendizaje: *momento anecdótico*, *momento de conceptualización sobre la analogía*, *momento de correlación conceptual* y *momento de la metacognición*, el cual están descritos en el marco teórico.

Por esta razón que se planteó como eje temático de la UD el enlace químico que brindó una serie de conceptos de difícil abstracción que necesitan de ser abordados de tal manera que les facilite la comprensión conceptual y explicación del fenómeno del enlace químico desde los diferentes niveles de representación, es decir, desde lo macroscópico, submicroscópico y representación simbólica.

7.6.1 Objetivos De La Unidad Didáctica

La asimilación de conceptos abstractos de la química por los estudiantes lleva a los profesores a buscar alternativas de enseñanza para la comprensión de los diferentes fenómenos que ocurren en esta área del conocimiento científico. La comprensión de fenómenos químicos está determinada por tres niveles de representación: macroscópico, submicroscópico y simbólico tal como lo describen (Gilbert & Treagust, 2009; Johnstone, 1982, 2009). Además, la enseñanza a través de analogías, desempeñan un papel central en

la explicación de modelos difíciles, actuando como modelos de enseñanza promoviendo la comprensión de modelos objetivo o fenómenos químicos.

Por lo anterior planteado, se estructuró una unidad didáctica que promovió el cambio conceptual en torno al concepto del enlace químico en los estudiantes a través de un modelo didáctico analógico, ya que en este concepto es concebido como uno de los más importantes en la química y que prácticamente a diario en múltiples reacciones químicas que ocurren de manera cotidiana en nuestro entorno formando una variedad de compuestos que presentan uniones entre átomos que son de interés en conocer y aprender para la comprensión de los diferentes propiedades que presentan estos tipos de sustancias químicas.

Así que en esta unidad didáctica se llevaron a cabo actividades que pretendían la asimilación de los tres niveles de representación de la química a través de la aplicación de analogías que favorezcan la apropiación del aprendizaje entorno al tópico conceptual del enlace químico.

Con el desarrollo de esta unidad didáctica se establecieron los siguientes objetivos:

- Promover la comprensión de la estructura de la materia, a través del estudio del enlace químico.
- Fomentar el uso del lenguaje científico en las explicaciones de las distintas representaciones sobre el enlace químico con el uso de analogías por parte de los estudiantes.
- Potenciar los diferentes niveles de representación en química en los estudiantes durante el proceso de enseñanza y aprendizaje del enlace químico.
- Potenciar la metacognición sobre los procesos de aprendizaje de los estudiantes.

7.7 DESCRIPCIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE ANÁLISIS

En esta investigación se tomó en cuenta como categoría de análisis los niveles de representación de la química, el cual es resumido en la siguiente tabla:

Tabla 1. Categorías y subcategorías investigativas.

Categorías	Subcategorías	Descriptorios
Niveles de Representación	Nivel macroscópico	Corresponde a representaciones mentales que proceden de la realidad observable.
	Nivel submicroscópico	Corresponde a la interpretación de procesos mediante partículas submicroscópicas como electrones, átomos o moléculas, que no pueden ser directamente observadas.
	Nivel simbólico	Involucra la representación de conceptos químicos usando diferentes medios, modelos, dibujos, representaciones algebraicas, formas digitales.

7.8 INSTRUMENTOS

En este trabajo de investigación se elaboraron instrumentos que permitieron la recolección de datos cualitativos que serán de objeto de análisis bajo la triangulación con los antecedentes, marco teórico y los datos. Con la finalidad de evidenciar los cambios en los niveles de representación de la química de los alumnos bajo el concepto del enlace químico. Por tanto, se tuvo en cuenta los siguientes instrumentos:

1. *Instrumento de indagación inicial*: Permitió conocer los conocimientos previos que tienen los alumnos sobre el concepto a trabajar.
2. *Diario de campo*: Permitió al investigador anotar aspectos del desarrollo de la investigación.
3. *Instrumento de Correlación Conceptual* (Adúriz-Bravo et al., 2005): permitió encontrar significado científico a la analogía presentada, el cual la información analógica se correlacionó con la información científica de destino a través de la relación de la información conocida con la información nueva (conceptualización científica).
4. *Instrumento metacognitivo* (Adúriz-Bravo et al., 2005): este contribuyó a la toma de conciencia y regulación del aprendizaje que se desarrolla en cada actividad propuesta.
5. *Instrumento final*: se aplicó nuevamente el test inicial con el objetivo de evidenciar los cambios en los niveles de representación después de haberse dado el proceso de intervención didáctica.

7.9 PLAN DE ANÁLISIS

El análisis cualitativo implica organizar los datos recogidos, transcribirlos cuando resulta necesario y codificarlos. La codificación tiene dos planos o niveles. Del primero, se generan unidades de significado y categorías. Del segundo, emergen temas y relaciones entre conceptos. Al final se produce una teoría enraizada en los datos (Hernández Sampieri et al., 2015, p. 394).

Por tanto, el análisis y tratamiento de la información en este estudio cualitativo se llevó de la siguiente manera:

1. Se recolectó la información requerida para el análisis de datos a través de las fuentes: instrumento de indagación de ideas previas, tabla de correlación conceptual, test metacognitivo y del instrumento final.
2. Se analizaron los datos recolectados a través de los instrumentos, para iniciar con la estructuración de la información mediante la organización de datos, transcripción del material y el uso de una bitácora de análisis para documentar el proceso. Esto conllevó a que el proceso de transcripción de la información obtenida sea sistematizado en una matriz aplicando el programa de hoja de cálculo Microsoft Excel (Microsoft Office) como una herramienta de análisis y visualización de datos.
3. Se procedió al análisis del material teniendo en cuenta los criterios de rigor o calidad de dependencia, credibilidad, transferencia y confirmación. Además, se llevó la codificación teniendo en cuenta la categoría, subcategorías y descriptores respectivos, esto facilitó crear códigos y seudónimos de la información relevante en la investigación.
4. Se procedió a la triangulación de la información teniendo en cuenta la información que emerjan de los datos, los cuales derivaron en conceptos que luego fueron corroborados y comparados por las diversas fuentes del marco teórico y aplicación de criterios de rigor cualitativo, permitiendo establecer

conclusiones respecto a los niveles de representación de la química bajo el concepto del enlace químico.

5. Se establecieron recomendaciones teniendo en cuenta los objetivos propuestos en la investigación.

8 RESULTADOS Y ANÁLISIS

8.1 RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados encontrados en relación con los niveles de representación de los estudiantes y los cambios evidenciados en los conceptos relacionados con el enlace químico.

Para estos resultados, se establecieron unos criterios que surgieron de la reinterpretación teórica hecha por Gilbert & Treagust (2009), a los niveles de representación de la materia propuesta por Johnstone (1982), en cual, el *nivel macroscópico* comprende sustancias químicas tangibles y visibles, que pueden o no formar parte de las experiencias diarias de los estudiantes. El *nivel submicroscópico* comprende el nivel de partículas, que se puede usar para describir el movimiento de electrones, moléculas, partículas o átomos y el *nivel simbólico* comprende una gran variedad de representaciones pictóricas, formas algebraicas y computacionales (Chittleborough, 2004, p. 17).

Esto nos permitió definir criterios para cada nivel de representación que contribuyeron a caracterizar cualitativamente descripciones representativas en función de conceptos relacionados con el enlace químico, tal como se muestra en la tabla 2:

Tabla 2. Criterios de los niveles de representación para la caracterización cualitativa de descripciones representativas en función de conceptos relacionado al enlace químico.

Niveles de representación	Criterios
Macroscópico	<ul style="list-style-type: none">- Propiedades organolépticas de la materia.- Estados y cambios de estado de la materia.- Evidencias de reacciones químicas (cambio de color, formación de precipitado, desprendimiento de gases, cambio de temperatura).
Submicroscópico	<ul style="list-style-type: none">- Estructura de la materia (Partículas, átomos y moléculas)- Diagramas representacionales de lo “invisible” (bidimensionales y tridimensionales).- Comportamiento de la materia (interacciones, fuerzas).

Simbólico	<ul style="list-style-type: none">- Índices, subíndices, letras que indican estados de la materia.- Señales de cargas eléctricas.- Símbolos de elementos y fórmulas de compuestos químicos.
------------------	---

Fuente: Adaptación de Gilbert & Treagust (2009) p. 4.

Teniendo en cuenta lo establecido en los párrafos anteriores, se resumen en las tablas 3 y 4 las representaciones encontradas en el instrumento de indagación inicial y final de 4 estudiantes que fueron seleccionados en esta investigación como unidad de trabajo.

Tabla 3. Representaciones importantes encontradas en los estudiantes en el instrumento inicial

Nivel de Representación	Conceptos y elementos representacionales	Representaciones encontradas en el instrumento inicial			
		E1	E2	E3	E4
	Propiedades organolépticas de la materia	Describe las propiedades organolépticas del agua, pero no menciona el estado en que se encuentra estas, además, también identifica el estado de una sustancia como en el caso de la urea.	Describe las propiedades organolépticas del agua, pero no menciona el estado en que se encuentra estas, además, también identifica el estado de una sustancia como en el caso de la urea.	Brinda una descripción centrada mayormente en la importancia del agua, haciendo poco énfasis en sus propiedades organolépticas.	Describe algunas propiedades organolépticas como el olor y el color que logra identificar, además explica hace referencia de forma indirecta a otra propiedad del agua en estado líquido como lo es la adhesión.
Macroscópico	Estados y cambios de estado de la materia	Explica a partir de la experiencia cotidiana en fenómenos asociados a cambios de estados de la materia y esquemas o dibujos para representar dicho fenómeno a escala macroscópica Las transformaciones físicas de la materia son descritas como un cambio químico, confundiendo cambio de estado con reacción química	<ul style="list-style-type: none"> - Indica que “<i>el agua se socafa debido al calor</i>”, dando características antropomórficas y animistas al fenómeno de la evaporación - Los cambios de estados evaporación y fusión son explicados y representado a través de esquemas o dibujos macroscópicamente dada a su experiencia cotidiana con este tipo de fenómenos - Emplea términos termodinámicos asociados al calor o temperatura en 	<ul style="list-style-type: none"> - Emplea términos como evaporación y condensación para indicar cambios de estado de la materia, los cuales atribuye al aumento de velocidad en el movimiento de las moléculas producto del calor. - En ciertas explicaciones de fenómenos emplea términos antropomórficos y animistas a los cuales atribuyen los cambios observados desde su experiencia sensorial: “<i>La vela se derrite con el calor del fuego ya</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Para explicar los cambios de estado se refiere a que inicialmente existe un estado de reposo que pasa a un estado de movimiento de las moléculas debido al calor y es así como se convierten en vapor. - Relaciona fenómenos como la combustión con la generación de cambios físicos en la materia; es notable también el uso del lenguaje animista y antropomórfico para explicar la experiencia sensorial de los

		explicación de la evaporación y fusión	<i>que sus moléculas son sencibles al calor y al tener contacto con el mismo se deteriora</i> ".	fenómenos ocurridos a nivel macroscópico: "... al sentir el caliente las moléculas solidas se buelven liquidas...".
Evidencias de reacciones químicas	Las reacciones químicas son caracterizadas bajo la experiencia cotidiana con el fenómeno, es decir, desde una mirada macroscópica, asumiendo terminologías como "...deterioro de los atomos al pasar el tiempo..." no se encuentran explicaciones a escala submicroscópica.	<ul style="list-style-type: none"> - Las reacciones químicas son caracterizadas bajo la experiencia cotidiana con el fenómeno sin explicaciones a una escala submicroscópica. - La reacción química es concebida como mezcla 	Explica las reacciones químicas como una interacción entre átomos, haciendo referencia a choques entre este tipo de partículas para dar explicación a reacciones observables a nivel macroscópico.	Las reacciones químicas las describe principalmente en el ámbito macroscópico. Existe una profunda confusión conceptual entre fenómenos de tipo biológico en el cual participan las bacterias (fermentación, putrefacción) y el cambio químico de la oxidación.
Estructura de la materia	<ul style="list-style-type: none"> - Emplea término como átomos en sus explicaciones - Representa los átomos mediante esferas sin ninguna indicación correspondiente en fenómenos asociados a los cambios de estado, reacciones químicas y enlace metálico 	<ul style="list-style-type: none"> - Usa términos como partículas, elementos, sustancias en sus explicaciones - Representa partículas a través de esferas en fenómenos asociados a los cambios de estado, reacciones químicas y enlace metálico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Usa términos como átomos y moléculas para referenciar las sustancias participantes en la explicación un fenómeno. - Emplea esferas en sus dibujos para representar sustancias (evaporación del agua, lata de aluminio). 	<ul style="list-style-type: none"> - Usa términos cómo moléculas y partículas para explicar la composición de la materia. - Dibuja puntos y esferas irregulares, sin hacer uso de modelos moleculares.
Submicroscópico				
Diagramas representacionales de lo "invisible" (bidimensionales y tridimensionales)	<ul style="list-style-type: none"> - Usa esferas para indicar el átomo y una línea entre dos átomos para hacer representaciones a escala submicroscópica indicando la unión química entre estos, pero su representación no logra explicar el fenómeno, además, todas 	<ul style="list-style-type: none"> - Representa partículas usando esferas diferentes colores y tamaños sin especificar la existencia de algún tipo de interacción entre átomos - La molécula de agua es representada como si 	No se evidencia empleo de modelos moleculares bidimensionales o tridimensionales como representación submicroscópica.	Representa de forma ocasional la estructura de la materia mediante un modelo de barras y esferas, sin embargo, dicha representación no corresponde a la sustancia que se pretende ilustrar.

	<p>las estructuras moleculares tienen un patrón angular como la molécula del H₂O para representar cualquier compuesto o metal (Aluminio y Hierro)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Representa partículas usando esferas diferentes colores y tamaños sin especificar la existencia de algún tipo de interacción entre átomos 	<p>fuera un diagrama de orbitales</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los átomos del aluminio (metal) son representados a través de un diagrama de partículas unidas de manera compacta a través de esferas de colores las cuales son los protones y electrones que se distribuyen por los átomos del metal 			
	Comportamiento de la materia (interacciones, fuerzas)	No hay explicaciones para explicar la interacción entre átomos para formar enlaces químicos	No hay explicaciones para explicar la interacción entre átomos para formar enlaces químicos	Solamente hace referencia a que existe una unión entre átomos que forman una sustancia.	Solamente hace referencia a que existe una unión entre átomos que forman una sustancia.
	Índices, subíndices, letras que indican estados de la materia.	Usa índices y subíndices para escribir la fórmula del H ₂ O, sin indicar el estado de la materia.	Usa índices y subíndices para escribir la fórmula del H ₂ O, sin indicar el estado de la materia.	Usa índices y subíndices para escribir la fórmula del H ₂ O, sin indicar el estado de la materia.	No emplea simbología representativa de las sustancias puras.
Simbólico	Señales de cargas eléctricas	Usa la terminología de cargas eléctricas en el fenómeno de la electrolisis química, describiendo que las cargas eléctricas que toma la molécula de agua en sus átomos de hidrógeno y oxígeno (+) y (-), aunque sea de manera equivocada usa los símbolos positivos y negativos para indicar la carga de dichos átomos.	No existen representaciones sobre cargas eléctricas entre la interacción de los electrones de átomos en sus explicaciones sobre el comportamiento de la materia. Por consiguiente, no hay uso de símbolos de cargas eléctricas.	Menciona las cargas eléctricas y las categoriza en positivas y negativas sin explicar nada más allá y sin utilizar símbolos.	Atribuye el fenómeno a las cargas eléctricas presentes en la sustancia conductora, sin embargo, se equivoca al mencionar que los electrones pueden estar cargados tanto positiva como negativamente. No hay uso de símbolos de cargas eléctricas.

Símbolos de elementos y fórmulas de compuestos químicos	<ul style="list-style-type: none"> - Conoce y nombra elementos presentes en una reacción química - Identifica la fórmula molecular y estructura molecular de un compuesto covalente - Los puntos usados para indicar los electrones de valencia en la fórmula de Lewis son descritos como electrones de manera general. - Describe la intercepción entre dos puntos como un enlace químico. - En las explicaciones sobre electrolisis usa el simbolismo (+) y (-), para indicar la carga de los átomos, sin especificar a que átomos hace referencia - Desconoce la representación de Lewis 	<ul style="list-style-type: none"> - Conoce y nombra elementos presentes en una reacción química - Identifica la fórmula molecular y estructura molecular de un compuesto covalente - Los puntos usados para indicar los electrones de valencia en la fórmula de Lewis son descritos como electrones de manera general. - Describe la intercepción entre dos puntos como un enlace químico. - Desconoce la representación de Lewis 	<ul style="list-style-type: none"> - Conoce y nombra elementos presentes en una reacción química - Se le dificultó identificar la fórmula molecular y estructura molecular de un compuesto covalente - Los puntos usados para indicar los electrones de valencia en la fórmula de Lewis son descritos como electrones de valencia. - Desconoce la intercepción entre dos puntos como un enlace químico. - Desconoce la representación de Lewis 	<ul style="list-style-type: none"> - Usa elementos y subíndices para representar la fórmula molecular del agua - Conoce y nombra elementos presentes en una reacción química - Se le dificultó identificar la fórmula molecular y estructura molecular de un compuesto covalente - Los puntos usados para indicar los electrones de valencia en la fórmula de Lewis son descritos como electrones, pero no especifica que son electrones de valencia. - Desconoce la intercepción entre dos puntos como un enlace químico. - Desconoce la representación de Lewis
---	---	---	---	---

Tabla 4. Representaciones importantes encontradas en los estudiantes en el instrumento final.

Representaciones encontradas en el instrumento final					
Subnivel	Conceptos y elementos representacionales	E1	E2	E3	E4
Macroscópico	Propiedades organolépticas de la materia	Describe las propiedades organolépticas del agua, pero no menciona el estado en que se encuentra estas, además, también identifica el estado de una sustancia como en el caso de la urea.	Describe de las propiedades organolépticas del agua, pero no menciona el estado en que se encuentra estas, además, también identifica el estado de una sustancia como en el caso de la urea.	Realiza una descripción de las propiedades organolépticas del agua, pero no menciona el estado en que se encuentra esta, además, señala la importancia del agua para la vida. También identifica el estado de una sustancia como en el caso de la urea.	Describe algunas propiedades organolépticas como el estado y el olor que logra identificar, además señala la importancia del agua para la vida. Logra identificar el estado de una sustancia como en el caso de la urea.
	Estados y cambios de estado de la materia	<ul style="list-style-type: none"> - Explicaciones a partir de la experiencia cotidiana en fenómenos asociados a cambios de estados de la materia y esquemas o dibujos para representar dicho fenómeno a escala macroscópica - Las transformaciones físicas de la materia son descritas como un cambio químico, confundiendo cambio de estado con reacción química. 	<ul style="list-style-type: none"> - Usa tecnicismo en el lenguaje como “se socafa” para describir el cambio de estado de líquido a gaseoso en el agua, dando características humanísticas al fenómeno de la evaporación - Los cambios de estados evaporación y fusión son explicados y representado a través de esquemas o dibujos macroscópicamente dada a su experiencia cotidiana con este tipo de fenómenos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Explica a partir de la experiencia cotidiana fenómenos asociados a cambios de estados de la materia, empleando términos termodinámicos asociados al calor o temperatura en la explicación de la evaporación y fusión. - Los cambios de estados evaporación y fusión son explicados y representado a través de esquemas o dibujos macroscópicamente desde su cotidianidad con estos fenómenos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Explica a partir de la experiencia cotidiana en fenómenos asociados a cambios de estados de la materia, empleando términos termodinámicos asociados al calor o temperatura en la explicación de la evaporación y fusión. - En el fenómeno de la evaporación describe la separación de las moléculas de agua líquida por la acción del calor causando el cambio de estado gaseoso.

Evidencias de reacciones químicas	<p>Las reacciones químicas son percibidas bajo la experiencia cotidiana con el fenómeno, es decir, desde una mirada macroscópica, asumiendo terminologías como ... "descomposición de átomos a través del tiempo"... no se encuentran explicaciones a escala submicroscópica, no describen el papel que juegan los enlaces químicos en la formación de nuevas sustancias.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Las reacciones químicas son explicadas bajo la experiencia cotidiana con el fenómeno sin explicaciones a una escala submicroscópica. - La reacción química es concebida como una combinación de sustancias las cuales hay una evidencia de reacción cuando se genera, dada a la formación de nuevas sustancias debido al rompimientos y formación de enlaces químicos en las sustancias que inician la reacción química. 	<ul style="list-style-type: none"> - Describe el fenómeno de las reacciones químicas desde una mirada macroscópica de la materia, las explicaciones a escala submicroscópica aún carecen de sustento conceptual - Explica las reacciones químicas en términos de interacción entre átomos, pero no son muy claras, además, estas no describen el papel que juegan los enlaces químicos en la formación de nuevas sustancias. 	<ul style="list-style-type: none"> - Las reacciones químicas son explicadas desde una mirada macroscópica de la materia, encontrándose descripciones a escala submicroscópica que carecen de sustento conceptual - Hay algunas explicaciones de las reacciones químicas en términos de interacción entre átomos, pero no son muy claras, además, estas no describen el papel que juegan los enlaces químicos en la formación de nuevas sustancias. Adicional a esto, se encuentran explicaciones de las reacciones químicas desde el punto de vista biológico al asumir que las bacterias son causantes del proceso de oxidación del metal, no hay una explicación desde el campo de la química en términos de interacción de átomos para explicar dicho fenómeno. 	
Submicroscópico	Estructura de la materia	<ul style="list-style-type: none"> - Usa término como átomos en sus explicaciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Usa términos como partículas, elementos, 	<ul style="list-style-type: none"> - Usa términos como átomos y moléculas para referenciar las 	<ul style="list-style-type: none"> - Usa términos cómo moléculas y partículas para explicar la

	<ul style="list-style-type: none"> - Representa los átomos sin ninguna indicación correspondiente 	<ul style="list-style-type: none"> - Representa partículas a través de esferas en fenómenos asociados a los cambios de estado, reacciones químicas y enlace metálico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Representa sustancias participantes en la explicación un fenómeno. - Emplea esferas en sus dibujos para representar sustancias (evaporación del agua, lata de aluminio). 	<ul style="list-style-type: none"> - composición de la materia. - Dibuja puntos y esferas irregulares, sin hacer uso de modelos moleculares.
<p>Diagramas representacionales de lo “invisible” (bidimensionales y tridimensionales)</p> <p>Usa esferas para indicar el átomo y una línea entre dos átomos para hacer representaciones a escala submicroscópica indicando la unión química entre estos, pero su representación no logra explicar el fenómeno</p> <p>Representa partículas usando puntos usando un solo color tamaño de esferas, sin especificar la existencia de algún tipo de interacción entre átomos</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Representa partículas usando esferas diferentes colores y tamaños sin especificar la existencia de algún tipo de interacción entre átomos - La molécula de agua es representada con geometría lineal a través átomos H y O y líneas que unen a estos (enlaces H-O), además, al átomo de O representa los electrones libres mediante puntos - Los átomos de aluminio son representados a través de un diagrama de partículas unidas de manera compacta, los cuales son átomos de aluminio que se unen a través de un enlace metálico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Representa partículas usando esferas diferentes colores y tamaños sin especificar la existencia de algún tipo de interacción entre átomos - La molécula de agua es representada con geometría angular a través átomos H y O y líneas que unen a estos (enlaces H-O), además, al átomo de O no se les representa los electrones libres mediante puntos - Dibuja los átomos de aluminio son mediante un diagrama de partículas unidas de manera semi compacta, indicando la interacción entre átomos de aluminio característico de un enlace metálico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dibuja partículas a través de esferas sin el uso del color para diferenciar a los átomos y tamaños como en el caso del agua, en el caso de Aluminio dibuja esferas de diferentes colores desconociendo que este solo presenta un solo tipo de átomos. - En las representaciones no se evidencia la existencia de algún tipo de interacción entre átomos - La molécula de agua es representada con geometría angular a través átomos H y O y líneas que unen a estos (enlaces H-O), además, al átomo de O no se les representa los electrones libres mediante puntos. - Dibuja los átomos de aluminio mediante un diagrama de partículas 	

					unidas de manera semi compacta, indicando la interacción entre átomos de aluminio característico de un enlace metálico.
	Comportamiento de la materia (interacciones, fuerzas)	<ul style="list-style-type: none"> - Describe que la atracción entre átomos (Bicarbonato y Limón) da como resultado una mezcla o una reacción química. - No hay descripciones para explicar la interacción entre átomos para formar enlaces químicos. 	Considera la interacción entre átomos para formar enlaces químicos.	Considera que existe interacción entre átomos forman una sustancia, pero estos no son explicados en términos del enlace químico.	Solamente hace referencia a que existe una unión entre átomos que forman una sustancia, pero estos no son explicados en términos del enlace químico
	Índices, subíndices, letras que indican estados de la materia.	<ul style="list-style-type: none"> - Usa índices y subíndices para escribir la fórmula del H₂O, sin indicar el estado de la materia. 	Usa índices y subíndices para escribir la fórmula del H ₂ O, sin indicar el estado de la materia.	Usa índices y subíndices para escribir la fórmula del H ₂ O, sin indicar el estado de la materia.	Usa índices y subíndices para escribir la fórmula del H ₂ O, sin indicar el estado de la materia.
Simbólico	Señales de cargas eléctricas	Usa la terminología de cargas eléctricas en el fenómeno de la electrolisis química, asumiendo que hay cargas positivas y negativas en la solución, sin argumento lógico al fenómeno descrito, además, no hay uso de símbolos de cargas eléctricas.	Describe la interacción de los electrones entre los átomos que conforman la cerilla para formar enlaces químicos, no hay uso de símbolos de cargas eléctricas.	La terminología de cargas eléctricas es descrita en el fenómeno de la electrolisis química, como el choque de cargas positivas y negativas las cuales son causantes de producir la corriente eléctrica en la solución. En el fenómeno de la oxidación de un metal asume que la pérdida de electronegativa causa pérdida total de un átomo. Pero no hay uso de símbolos de cargas eléctricas.	La terminología de cargas eléctricas es usada en el fenómeno de la electrolisis química, pero asume que en la disolución salina “las cargas positivas y negativas de los electrones” son las responsables de producir la corriente eléctrica. Asumiendo un error conceptual con relación a la carga del electrón en un átomo. Pero, no hay uso de símbolos de cargas eléctricas.

Símbolos de
elementos y
fórmulas de
compuestos
químicos

- | | | | |
|---|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">- Conoce y nombra elementos presentes en una reacción química- Identifica la fórmula molecular y estructura molecular de un compuesto covalente- Los puntos usados para indicar los electrones de valencia en la fórmula de Lewis son descritos simplemente como electrones.- Describe la intercepción entre dos puntos como un enlace químico.- Identifica la fórmula de Lewis y el simbolismo para representar los electrones de valencia y la unión química. | <ul style="list-style-type: none">- Conoce y nombra elementos presentes en una reacción química- Identifica la fórmula molecular y estructura molecular de un compuesto covalente- Los puntos usados para indicar los electrones de valencia en la fórmula de Lewis son descritos como electrones de valencia- Describe la intercepción entre dos puntos como un enlace químico.- Identifica la fórmula de Lewis y el simbolismo para representar los electrones de valencia y la unión química. | <ul style="list-style-type: none">- Conoce y nombra elementos presentes en una reacción química- Identifica la fórmula molecular y estructura molecular de un compuesto covalente- Los puntos usados para indicar los electrones de valencia en la fórmula de Lewis son descritos simplemente como electrones.- Describe la intercepción entre dos puntos como un compartimiento de electrones.- Desconoce la representación de Lewis y el simbolismo para representar los electrones de valencia y la unión química. | <ul style="list-style-type: none">- Conoce y nombra elementos presentes en una reacción química- Identifica la fórmula molecular y estructura molecular de un compuesto covalente- Los puntos usados para indicar los electrones de valencia en la fórmula de Lewis son descritos como el número de electrones tiene cada elemento- Describe la intercepción entre dos puntos como un compartimiento de electrones.- Desconoce la representación de Lewis y el simbolismo para representar los electrones de valencia y la unión química. |
|---|--|---|---|
-

Los resultados de las representaciones iniciales y finales (tabla 3 y 4) que emergieron del instrumento de indagación inicial y final, fueron tomados como datos importantes para el análisis de los cambios en los niveles de representación de los estudiantes, además, los hallazgos encontrados en la aplicación de la unidad didáctica también serán fuente de análisis para establecer patrones comparativos que permitan evidenciar dichos cambios en los niveles de representación con relación al concepto del enlace químico en el antes, durante y después de la intervención didáctica.

8.2 ANÁLISIS Y DISCUSIONES

8.2.1 Introducción

El análisis cualitativo realizado permitió conocer y determinar los niveles de representación de la materia de cuatro estudiantes de grado décimo de educación media de las Instituciones Educativa Candelaria Hacienda y San Anterito del Municipio Santa Cruz de Lórica (Córdoba), haciendo uso de los criterios que permitieron caracterizar descripciones representativas a nivel macroscópico, submicroscópico y simbólico, tal como se definió en la tabla 2. Para dicho análisis se tomaron 2 estudiantes como unidad de análisis, que fueron los estudiantes codificados como E2 y E3.

La categoría de investigación analizada fue los niveles de representación de la materia establecido por Johnstone (1982) y las subcategorías analizadas fueron: nivel macroscópico; nivel submicroscópico y simbólico (Gilbert & Treagust, 2009).

8.2.2 Análisis De La Categoría Niveles De Representación

8.2.2.1 Análisis De La Subcategoría Nivel Macroscópico

En el nivel macroscópico busca representar fenómenos experimentados con los sentidos (o extensiones de los sentidos), además, comprende sustancias químicas tangibles y visibles, que pueden o no formar parte de las experiencias diarias de los alumnos (Gilbert & Treagust, 2009).

En el análisis del contenido realizado a las respuestas de los alumnos relacionadas al nivel macroscópico, se evidencia un dominio aceptable de las propiedades organolépticas que les permiten determinar características y propiedades de las sustancias en el antes,

durante y después de la intervención didáctica, tal como se muestra en la tabla 5 y 6, lo cual nos permite decir que no hay un cambio perceptible en este nivel de representación dado al manejo aceptable de este tipo de representaciones a escala macroscópica.

Tabla 5. Análisis de las propiedades organolépticas en el instrumento inicial y final.

Pregunta (1a): Si miras a tu alrededor encontraras muchas manifestaciones de la materia, describe cómo es el agua líquida: **(a)** Por lo que logras percibir con tus órganos de los sentidos:

	Instrumento Inicial	Instrumento Final
Respuesta E2	<i>El agua es trasparente, sin sabor, olor, su textura es muy suave, humeda, moja al tocala.</i>	<i>Es transparente, suave al tacto, no tiene sabor, no tiene olor.</i>
Respuesta E3	<i>Por lo que yo puedo percibir el agua es un liquido que uno puede tocar y ver a simple vista, tiene un sabor natural.</i>	<i>El agua líquida es transparente tiene un sabor natural la puedo tocar y ver y si desiende de una cascada puedo escuchar su sonido Es la fuente de vida.</i>

Dado que los alumnos manifiestan representaciones que les permiten describir o identificar propiedades organolépticas de sustancias ya sean de compuestos iónicos, covalentes o de metales, existen errores conceptuales que les generan confusión entre un proceso físico como fusión y un proceso químico como es la descomposición de una sustancia sólida tal como se observa en las respuestas de la preguntas de la tabla 6 relacionada al calentamiento de una sustancia, contestada por el estudiante E2, prueba de ello es responder que un clavo de hierro “*se descompone*” al calentarse y a la pregunta relacionada con la propiedad de solubilidad ¿Se disuelve en agua? Para ese mismo material responde “*no se derrite*”. Por ello es factible afirmar que el estudiante confunde el concepto de solubilidad con fusión.

Tabla 6. Análisis de las propiedades organolépticas de compuestos iónicos y covalentes y metales en la unidad didáctica.

Actividad 3.

Pregunta 1. En la siguiente tabla se dan unas sustancias, en ella tendrás que indicar que sucede con la sustancia cuando se calienta, se disuelve en agua, si conduce o no conduce la corriente eléctrica.

Respuestas E2

Sustancia	Al calentarse, se derrite, no se derrite o se descompone	¿Se disuelve en agua?	¿Conduce la corriente eléctrica en su estado natural?	¿Conduce la corriente eléctrica disuelta en agua?
Sal de cocina	<i>No se derrite</i>	<i>Se derrite</i>	<i>No</i>	<i>Si</i>
Azúcar o Sacarosa	<i>Se derrite</i>	<i>Se derrite</i>	<i>No</i>	<i>No</i>
Clavo de hierro	<i>Se descompone</i>	<i>No se derrite</i>	<i>Si</i>	<i>No</i>
Bicarbonato de sodio	<i>No se derrite</i>	<i>Se derrite</i>	<i>No</i>	<i>Si</i>
Urea	<i>Se derrite</i>	<i>Se derrite</i>	<i>No</i>	<i>No</i>
Alambre de cobre	<i>Se descompone</i>	<i>No se derrite</i>	<i>Si</i>	<i>No</i>

Respuestas E3:

Sustancia	Al calentarse, se derrite, no se derrite o se descompone	¿Se disuelve en agua?	¿Conduce la corriente eléctrica en su estado natural?	¿Conduce la corriente eléctrica disuelta en agua?
Sal de cocina	<i>se descompone</i>	<i>si</i>	<i>No</i>	<i>Si</i>
Azúcar o Sacarosa	<i>se descompone</i>	<i>si</i>	<i>No</i>	<i>No</i>
Clavo de hierro	<i>se derrite</i>	<i>No</i>	<i>Si</i>	<i>No</i>
Bicarbonato de sodio	<i>se descompone</i>	<i>Si</i>	<i>No</i>	<i>No</i>
Urea	<i>se descompone</i>	<i>Si</i>	<i>No</i>	<i>No</i>
Alambre de cobre	<i>se derrite</i>	<i>No</i>	<i>Si</i>	<i>No</i>

Las confusiones y errores conceptuales comentados en el párrafo anterior han sido asociados con la dificultad que presentan los aprendices de química al relacionar las observaciones del nivel macroscópico con la teoría expuesta para explicar esas manifestaciones desde el nivel submicroscópico; de acuerdo con lo manifestado por Bucat & Mocerino (2009) la experiencia de enseñanza común sugiere que a veces los alumnos hacen uso de los sentidos en las representaciones en lugar de la realidad submicroscópica que representan; en consecuencia se pueden presentar dificultades al diferenciar dos conceptos con manifestaciones macroscópicas similares pero de una naturaleza submicroscópica distinta como lo son los cambios físicos y los cambios químicos.

En contraste, en la investigación llevada a cabo por Vallejo (2017), los estudiantes luego de la intervención didáctica mostraron un avance notable en nivel de representación macroscópico pudiendo clasificar de manera correcta los cambios de la materia: físicos y químicos a partir de una situación dada. Este fenómeno podría tener su explicación en la ausencia de proyectos de laboratorios en la presente investigación por motivos relacionados con la dotación y la infraestructura inadecuada de las instituciones educativas sumado a la emergencia social y sanitaria por COVID-19. En consecuencia, se reconoce la importancia de la aplicación de actividades de laboratorio en forma de proyectos, tal como lo sugiere Tsarpalis (2009) afirmando que las prácticas de laboratorio son de gran utilidad al generar una conexión entre los procesos cognitivos y la actividad psicomotora de los estudiantes.

De igual manera las representaciones macroscópicas encontradas con relación a los *estados y cambios de estado de la materia* evidenciaron que los alumnos en general dan explicaciones a partir de la experiencia cotidiana en fenómenos asociados a cambios de estados de la materia y esquemas o dibujos para representar dicho fenómeno a escala macroscópica a pesar de que las preguntas tenían la intención de indagar sobre lo que ocurría a nivel submicroscópico con las moléculas o partículas en dichos fenómenos; manteniendo la tendencia de omitir las explicaciones desde el nivel submicroscópico de la materia observadas desde las respuestas asociadas a las preguntas indagatorias de los cambios físicos y químicos de la materia. (Ver tabla 7).



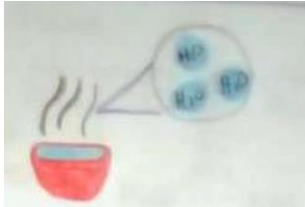

En concordancia con Vallejo (2017), cuya investigación expresa una debilidad en el dominio de la “consciencia microscópica” manifiesta que los obstáculos presentados en el nivel submicroscópico de la materia se deben principalmente al alto grado de abstracción que posee este nivel, lo cual impide a los estudiantes brindar respuestas consistentes empleando un lenguaje apropiado a los fenómenos de la materia invisibles al ojo humano. Por ende, esa falta de consistencia se hace evidente en la presente investigación cuando los estudiantes limitan sus explicaciones de los fenómenos químicos al nivel macroscópico de la materia.

Tabla 7. Análisis del cambio de estado en el instrumento inicial y final.

Pregunta (3): Imagina que puedes ampliar los fenómenos que observas en las imágenes miles de millones de veces hasta observar el comportamiento de sus átomos. Representa lo que has imaginado con un dibujo y explícalo con tus palabras.



Evaporación del agua

	Instrumento Inicial	Instrumento Final
Respuesta E2	 <p><i>Las partículas de agua se sofocan por el calor producido por el fuego soltando el vapor. Los puntos rojos representan la sofocación del agua.</i></p>	 <p><i>Las moléculas de agua se sofocan y se acumulan arriba formando el vapor.</i></p>
Respuesta E3		

<i>La olla al calentarse con el fuego las moléculas empiezan a moverse más veloz y en una interacción con el aire se van flotando con el CO_2...</i>	<i>Al sentir el calor las moléculas del agua se empiezan a mover asceleradamente y a evaporarse.</i>
--	--

Puesto que estamos analizando el nivel macroscópico, es importante resaltar que un estudiante puede crear representaciones macroscópicas, submicroscópicas y simbólicas bajo el estudio de un fenómeno químico, como se puede notar en la tabla 7, la pregunta indagaba el nivel de representación submicroscópico y simbólico pero los estudiantes derivaron representaciones macroscópicas. Una posible explicación a esto puede ser la interpretación inadecuada de lo que se preguntaba o los conceptos necesarios para explicar el fenómeno de un cambio de estado de la materia desde una perspectiva submicroscópica no hayan sido aprendidos, quedándose simplemente a lo que ellos han podido presenciar en su cotidianidad con el fenómeno.

Adicional a esto, se encuentran representaciones con relación a la evaporación haciendo uso de términos antropomórficos y animistas en sus explicaciones a los cuales atribuyen los cambios observados desde su experiencia sensorial tal como se evidencian en las respuestas de los estudiantes E2 “*Las partículas de agua se sofocan por el calor ...*” y E3 “*Al sentir el calor las moléculas del agua se empiezan a mover...*” de la tabla 7. Ya Taber & Watts (1996) hacen referencia a este tipo de terminologías antropomórficas y animistas en respuestas de estudiantes a las preguntas relacionadas con la enseñanza de la química en estudios sobre las representaciones de esta ciencia.

Para Taber & Watts (1996) es bastante común dentro del estudio de la química por parte de jóvenes estudiantes encontrar este tipo de terminologías donde el antropomorfismo atribuye a las partículas atómicas y subatómicas emociones, características o sentimientos inherentes al ser humano; mientras que el animismo se refiere a atribuir características de los seres vivos a los seres inanimados. En este sentido, los hallazgos de estos autores resultan congruentes con el hecho de que los estudiantes de la presente investigación le atribuyan sensaciones a las partículas que se someten al calor.

En la evaporación y fusión es importante el efecto del calor para que se dé el cambio de estado de la sustancia, dado a lo anterior, los estudiantes usaron terminologías termodinámicas como calor o temperatura en la explicación de dichos fenómenos llevándolos a generar representaciones en función de lo expuesto tal como se resumen en las representaciones encontradas en el instrumento inicial y final (Ver tabla 3 y 4), pero, estas se quedan a escala macroscópica. Como se expuso anteriormente, se esperaba que representaciones submicroscópicas con relación a los efectos del calor sobre los átomos que forman la estructura y las fuerzas que mantienen unidas a las unidades moleculares de la sustancia que sufre un cambio de estado, esto lo podemos notar en las respuestas de los estudiantes en la tabla 7.

Ante lo expuesto, se puede establecer que las representaciones a nivel macroscópico dadas a los cambios de estado de la materia en todos estudiantes manifiestan el mismo patrón tanto en el instrumento inicial como en el instrumento final, consecuente a la inadecuada interpretación o dificultad conceptual para representar a escala submicroscópica un cambio de estado, por ende, no se lograron establecer explicaciones de dichos fenómenos en función del efecto del calor sobre los átomos que forman la estructura de una sustancia sometida a fusión o evaporación que permitiera documentar cambios en este nivel de representación, simplemente quedando representaciones macroscópicas.

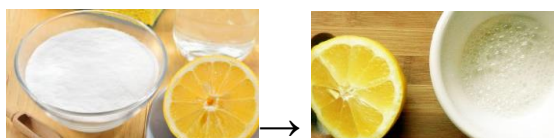
El estancamiento de los estudiantes con respecto a brindar explicaciones acertadas desde el nivel submicroscópico a los fenómenos del nivel macroscópico concuerda con los hallazgos de Prieto (2019), quien afirma en su investigación que los estudiantes participantes realizaron muy pocas relaciones conceptuales entre el nivel macroscópico y submicroscópico.

Con relación al criterio de evidencias de reacciones químicas, las representaciones encontradas muestran que los alumnos E2 y E3 en el instrumento de indagación inicial y final representan de manera general a través de descripciones o dibujos las reacciones químicas explicadas bajo la experiencia cotidiana desde una mirada macroscópica (Ver tabla 8), tal como ocurrió con los cambios de estado de la materia, aunque después de la





intervención didáctica no se conciben explicaciones en términos de interacción entre átomos para formar nuevas sustancias, puesto que en este fenómeno los reactantes (sustancias que reaccionan) sufren rupturas en sus enlaces químicos, que a su vez, forman nuevas uniones químicas con otros átomos reorganizándose para formar nuevas sustancias llamadas productos. Sin embargo, las bases conceptuales que poseen los estudiantes no les permitieron profundizar en argumentos que sustentaran una explicación a nivel submicroscópico con relación a ruptura y formación de enlaces químicos.

Tabla 8. Análisis de las reacciones químicas en el instrumento inicial y final.

Pregunta (3): Imagina que puedes ampliar los fenómenos que observas en las imágenes miles de millones de veces hasta observar el comportamiento de sus átomos. Representa lo que has imaginado con un dibujo y explícalo con tus palabras.



Bicarbonato de sodio en zumo de limón

	Instrumento Inicial	Instrumento Final
Respuesta E2	 <p><i>El ácido del limón con el sodio del bicarbonato producen una reacción química que hace que esta mezcla hierva</i></p>	 <p><i>En este fenómeno el jugo cítrico del limón se combina con el bicarbonato y se produce una reacción química la cual produce burbujas</i></p>
Respuesta E3	 <p><i>Al mezclar bicarbonato de sodio con limón empieza hacer burbujas por la interacción del ácido con el bicarbonato mezclados en un mismo lugar.</i></p>	 <p><i>Los átomos del bicarbonato al sentir el ácido del limón empiezan a explotar como en forma de una erupción.</i></p>

Al respecto Bucat & Mocerino (2009), exponen que los estudiantes requieren poseer un alto grado de consciencia que les permita desarrollar las habilidades de visualización en el nivel submicroscópico; al mismo tiempo se requiere un alto grado de imaginación para comprender el nivel submicroscópico; puesto que este es inobservable. En virtud de ello es probable que los estudiantes no hayan logrado desarrollar todas esas habilidades que le permiten acceder a la comprensión de los fenómenos observables desde una mirada submicroscópica teniendo en cuenta que deben aprender a dar sentido a lo invisible (Kozma & Russell, 1997).

En las representaciones de los estudiantes con relación al nivel macroscópico, se perciben problemas conceptuales que dificulta a los estudiantes a diferenciar un compuesto de una mezcla y asociar la unión de dos o más sustancias como una mezcla, según lo describe el estudiante E2: *“El ácido del limón con el sodio del bicarbonato producen una reacción química que hace que esta mezcla hierva”*, dado que su percepción no les permite diferenciar un cambio químico de un cambio físico. Ante estos errores conceptuales conlleva a la dificultad de pasar del nivel macroscópico al nivel submicroscópico creando una ruptura entre lo perceptible y no perceptible de la materia. Esto ya es comentado en la investigación realizada por Talanquer (2010), donde expone la separación entre el mundo como lo experimentamos y lo interpretamos en la vida real y el mundo como es modelado por la ciencia.

1.1.1.1. Análisis De La Subcategoría Nivel Submicroscópico

En principio, la subcategoría del nivel submicroscópico hace referencia al nivel de las partículas para describir el movimiento de los electrones, moléculas partículas o átomos (Chittleborough, 2004), este nivel de representación se estudia con base en la interpretación de diagramas que representen el nivel particulado y molecular de la materia (Davidowitz & Chittleborough, 2009).

El análisis de la información de este subnivel a partir de las respuestas de los estudiantes mostró un progreso moderado en cuanto a la manera de representar gráficamente las partículas invisibles de la materia y en el uso del lenguaje de la química al brindar respuestas con propósitos explicativos a los fenómenos relacionados con los distintos tipos de enlaces químicos.

Tabla 9. Análisis de las respuestas que describen la estructura y comportamiento de los enlaces químicos.

Pregunta (4a.): El aluminio es usado para la fabricación de envases, como vez en la imagen.



¿cómo consideras tú que están organizados los átomos que constituyen el envase?

	<i>Instrumento inicial</i>	<i>Instrumento final</i>
Respuesta E2	<i>“Estan formados por protones y electrones repartidos por todo el envase”</i>	<i>“Estos átomos estan organizados por enlaces metálicos por los electrones de la capa de valencia”</i>
Respuesta E3	<i>“Los átomos de este embace estan estrictamente unidos entre si y tienen una forma flexible para moldear figuras con el, ya que es un metal. Los átomos están compactos y unidos.</i>	<i>“Se encuentran muy unidos interactuando entre si, de tal forma que se dejan moldear para realizar dichas figuras”</i>

Al realizar el análisis de los interrogantes que apuntan hacia el desarrollo del nivel submicroscópico se encuentran dos aspectos: en la descripción de la formación de nuevos enlaces al unir dos sustancias como el bicarbonato y el limón (ver tabla 8) pese que en el estudiante E2 hay un avance en el lenguaje utilizado, en ambos estudiantes es evidente la omisión de una descripción en el ámbito submicroscópico de la materia, hecho referenciado por Vallejo (2017) donde da cuenta de la poca consciencia de los estudiantes en el dominio

de los modelos submicroscópicos, que podría incluir la ruptura y formación de nuevos enlaces químicos, limitándose únicamente a describir macroscópicamente el fenómeno y en el caso de E2 asociar la observación de burbujas con una reacción química.

En la descripción de este mismo fenómeno al estudiante E3 no puede atribuírsele un avance puesto que en ambas respuestas realiza una descripción macroscópica del fenómeno, empleando además términos antropomórficos y animistas encontrados en investigaciones similares acerca del poder explicativo de los estudiantes de los fenómenos en los enlaces químicos (Taber & Watts, 1996), como el verbo “sentir” para describir el comportamiento de los átomos que componen el bicarbonato.

En contraste con lo anterior en la pregunta asociada al enlace metálico donde se solicita describir el comportamiento de los átomos en una lata de aluminio (ver tabla 9 y 10), el estudiante E2 manifiesta un avance conceptual donde pasa de nombrar las partículas subatómicas que hacen parte de los átomos que conforman la lata hasta asociar su aspecto macroscópico al enlace metálico entre los átomos haciendo uso del lenguaje de la química y otorgándole relevancia a los electrones de valencia: *“Estos átomos estan organizados por enlaces metálicos por los electrones de la capa de valencia”*.



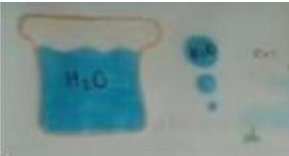
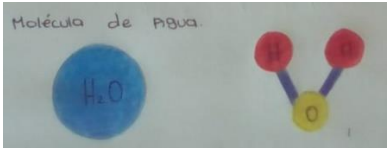
El estudiante E3 sin embargo, no manifiesta un progreso en esta pregunta pues asocia una característica macroscópica como la flexibilidad, a la respuesta del interrogante planteado tanto en el instrumento inicial como en el final, aunque en el instrumento final apunta a una interacción entre los átomos, no identifica que tipo de enlaces los mantiene unidos o cómo es posible que esto ocurra a nivel submicroscópico: *“Se encuentran muy unidos interactuando entre si, de tal forma que se dejan moldear para realizar dichas figuras”*, esta falta de avance conceptual puede estar relacionada con el hecho de que los estudiantes asocian el comportamiento microscópico directamente con características o propiedades macroscópicas (Ben-Zvi et al., 1986).

Como se ha mencionado a lo largo de este estudio el nivel submicroscópico está definido en un marco que incluye las representaciones de la materia utilizando diagramas que muestren aquello considerado como real pero invisible que según Davidowitz &


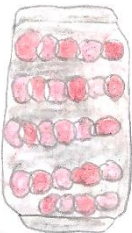
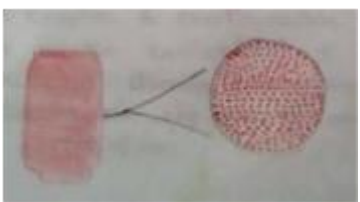
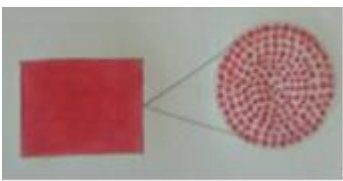
Chittlebrough (2009) incluyen el nivel particulado y molecular de la materia, en este sentido se les solicitó a los estudiantes haciendo uso de sus conocimientos e imaginación que representaran submicroscópicamente los enlaces químicos presentes en sustancias conocidas; en la primera actividad donde representaron el agua ambos estudiantes registraron avances importantes.

Tabla 10. Análisis de los diagramas representacionales de los estudiantes.

Pregunta (1b.): Si miras a tu alrededor encontraras muchas manifestaciones de la materia, describe cómo es el agua líquida: Podrías representar a través de un dibujo la estructura del agua.

	Instrumento Inicial	Instrumento Final
Respuesta E2		
Respuesta E3		

Pregunta (4b.): El aluminio es usado para la fabricación de envases, como ves en la imagen (lata de aluminio). b) Representélos a través de un gráfico o esquema

	Instrumento inicial	Instrumento final
Respuesta E2		
Respuesta E3		

Es así como el estudiante E2 realiza en el instrumento inicial una representación con esferas de la molécula de agua, pese a que la relación simétrica no refleja la polaridad de la molécula el tamaño de los átomos y las uniones muestran cierta claridad que posee el estudiante en cuanto a la composición química y particulada de la molécula de agua (Tabla 10); este último aspecto se mantiene en la representación con símbolos del instrumento final que si bien no corresponde al nivel submicroscópico y posee errores en la distribución de los puntos que representan los electrones de valencia, el estudiante logra demostrar un avance conceptual importante si se tiene en cuenta que el dominio del nivel simbólico es considerado como el más avanzado en el conocimiento de la química, puesto que este dominio se ocupa de representar y comunicar los conceptos y modelos desarrollados en los niveles submicroscópico y macroscópico (Taber, 2013).

En este orden de ideas, la estudiante E3 también manifestó un avance notable puesto que pasó de representar macroscópicamente el agua como sustancia química a utilizar el diagrama de barras y esferas que muestra la disposición y la unión de los átomos en el enlace covalente polar de la molécula (Tabla 10). Sin embargo, los átomos representados en dicho diagrama presentan el mismo tamaño y solo son diferenciados por color; esto, aunque es considerado un error en el diagrama, también son destacables los avances mencionados a partir del mismo.

Los avances obtenidos en el nivel submicroscópico podrían ser atribuidos al uso de imágenes presentes constantemente en la exposición de analogías y en el momento de correlación conceptual, esta postura coincide con lo reportado por Prieto (2019), quien relaciona el avance en el aprendizaje de representaciones de sus estudiantes con el empleo de diagramas, igualmente Davidowitz & Chittleborough (2009) señalan que se deben usar muchos diagramas, promover la construcción de éstos por parte de los estudiantes y asociar el nivel submicroscópico con el macroscópico para facilitar la comprensión conceptual dentro del nivel submicroscópico.

1.1.1.2. Análisis De La Subcategoría Nivel Simbólico

El nivel simbólico comprende una gran variedad de representaciones pictóricas, formas algebraicas y computacionales (Chittleborough, 2004, p. 17). Este nivel involucra la asignación de símbolos para representar los átomos, bien sea de un elemento o un grupo de varios elementos conjuntos, además de expresar conceptos químicos mediante fórmulas, ecuaciones químicas, expresiones matemáticas, gráficos, definiciones, subíndices para indicar el número de partícula, letras para designar el estado físico de la sustancia, etc. (L. R. Galagovsky, Rodríguez, Stamati, & Morales, 2003; Ordenes, Arellano, Jara, & Merino, 2014).

En las representaciones de símbolos que implican índices, subíndices, letras que indican estados de la materia de los estudiantes E2 y E3 utilizan subíndices en la representación de fórmulas moleculares de sustancias. Por ejemplo, en la tabla 10 pregunta (1b), E2 y E3 no presentan dificultad para escribir la fórmula molecular del agua H_2O respectivamente, aunque lo que si no se percató es el uso de letras que indican el estado de una sustancia. El uso de subíndices también lo vemos manifestado en el desarrollo de la unidad didáctica, tal como se describe en el siguiente problema planteado a través de fichas que representan átomos que al combinarse formaban un compuesto iónico o covalente, de tal manera que permitía conseguir la fórmula molecular a través de fichas que se unen como si fuera un rompecabezas:

Figura 4. Fichas usadas para formar compuestos iónicos y covalentes.

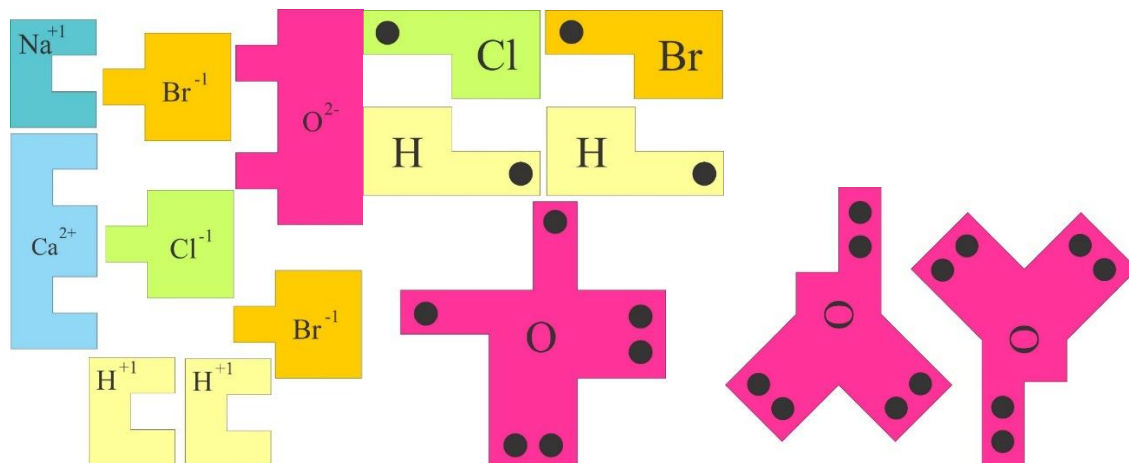


Imagen: Creación propia©.

Tabla 11. Representación de fórmulas moleculares de compuestos iónicos y covalentes.

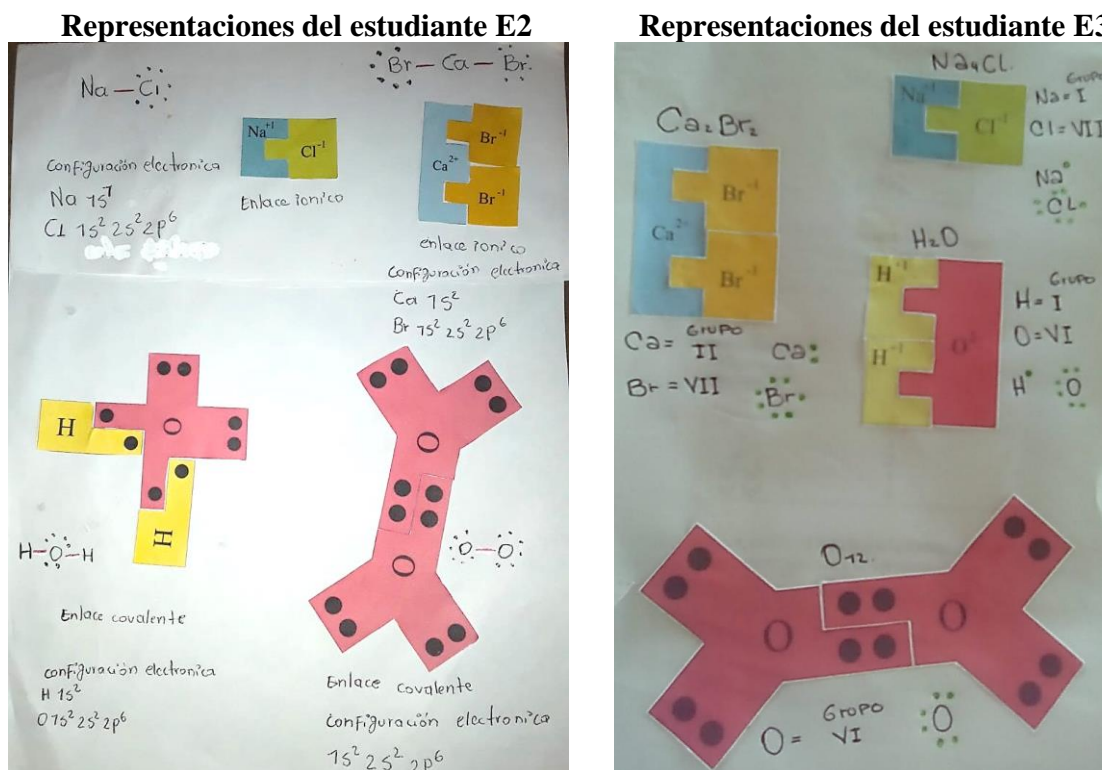
Actividad 4. Ahora las fichas tendrán un significado más complejo las cuales están representadas por el símbolo químico de un elemento, la carga de este cuando esta ionizado o por puntos que representan los electrones de valencia, además de esto, al unir las fichas se formarán compuestos con determinada formula química y que forman una figura con geometría propia al combinarse los átomos. Valiéndote de la analogía del rompecabezas anteriormente mostrado y sabiendo que los átomos se unen a través de enlaces químicos por medio de sus electrones de valencia, indica en la siguiente tabla las diferentes composiciones que se pueden originar a partir de los siguientes átomos:

Respuestas del E2		Respuestas del E3	
Átomos	Formula molecular	Átomos	Formula molecular
H y O	H ₂ O	H y O	H ₂ O
Na y Cl	NaCl	Na y Cl	Na ₄ Cl
O y O	O ₂	O y O	O ₁₂
Ca y Br	CaBr ₂	Ca y Br	Ca ₂ Br ₂

Podemos notar que los estudiantes logran representar la formula molecular de las combinaciones entre átomos usando los subíndices que indican la cantidad de átomos que conforman dicha formula del compuesto (Ver tabla 11), aunque E2 lo realiza de manera correcta, E3 representa los subíndices de manera errada. A pesar de la dificultad de E3, ambos estudiantes manifiestan el uso de subíndices al representar la formula molecular de un compuesto iónico o covalente.

Además, el enlace químico tiene un simbolismo específico que es necesario comprender para derivar explicaciones a nivel submicroscópico, en esa misma actividad se trabajó este tipo de simbolismo. A continuación, damos las representaciones creadas a partir de las fichas por los estudiantes E2 y E3 en la figura 5:

Figura 5. Representaciones de compuestos iónicos y covalentes creado por E2 y E3 a través de las fichas.

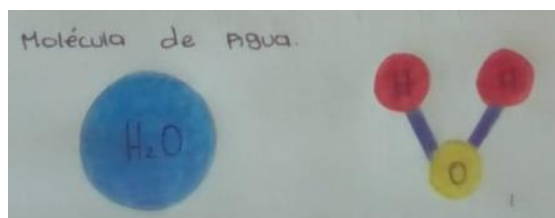


También en el instrumento final vemos este simbolismo en los dibujos de los estudiantes E2 y E3 de la representación de la molécula del agua a nivel submicroscópico, tal como se observa en la tabla 10 y figura 6.

Figura 6. Representación de la molécula del agua por E2 y E3 en la pregunta 1b del instrumento final.



Representación de la molécula del agua del estudiante E2



Representación de la molécula del agua del estudiante E3

Teniendo en cuenta la figura 5, el E2 introduce en las representaciones simbólicas del enlace químico el uso de puntos que indican los electrones de valencias en la fórmula de Lewis, usa una línea recta (\square) para designar un enlace químico entre dos átomos, usa el simbolismo inmerso en la representación de la configuración electrónica como el uso de números y letras que indican el nivel de energía y el subnivel del electrón respectivamente, y los subíndices mediante números para indicar la cantidad de electrones por subnivel, mientras que E3, logra solo representar los electrones de valencias en la fórmula de Lewis y la línea recta (\square) para designar un enlace químico entre dos átomos. Si observamos la representación de la molécula del agua (H_2O), el E2 logra replicar la simbología de la fórmula de Lewis en su representación del agua de manera lineal, mientras que E3, se queda con una representación mediante un diagrama molecular.

En el instrumento inicial no se encontraron representaciones de la molécula de agua correspondiente al nivel simbólico, hecho que puede sustentar que este tipo de simbolismo fue asimilado en cierta medida por los estudiantes, dado que después de la aplicación de la UD el estudiante E2 logra introducir esta simbología en el instrumento final. Es de anotar

que el E2 presentó una mejor apropiación de este lenguaje que el E3 durante el desarrollo de la unidad didáctica y el cual le dio uso durante la representación de la molécula de agua. Aunque en ambas representaciones de la figura 6, vemos que el enlace químico entre dos átomos es representado por ambos estudiantes mediante una línea recta (□).

Por otra parte, con relación al simbolismo de cargas eléctricas, encontramos que durante el análisis del discurso de los estudiantes E2 y E3 en el instrumento inicial y final hay descripciones relacionadas a las cargas eléctricas, pero no son capaces de introducir o usar el simbolismo de cargas positivas (+) y cargas negativas (-) en ellas durante el desarrollo del instrumento inicial y final tal como se indica en la tabla Y1 y Y2. En la aplicación de la unidad didáctica también se mantiene esta tendencia anterior descrita, por ejemplo, el E2 en la siguiente pregunta desarrollada en la actividad 2 de la unidad didáctica:

Pregunta de la actividad 2: Describe las interacciones que ocurren en los diferentes enlaces químicos.

Respuesta E2: *“La interacción que ocurre en el enlace iónico es que dos átomos uno metálico y otro no metálico se unen y el elemento más electronegativo atrae con fuerza un electrón del elemento metálico quedando así **cargado negativamente** y el otro **positivamente**... en el enlace metálico los electrones libres de los átomos forman una nube electrónica quedando cada átomo **cargado positivamente**”.*

Un análisis del uso de la simbología de cargas eléctricas en conceptos relacionados al enlace químico es escaso en los E2 y E3, lo cual puede indicar que los estudiantes tienen desconocimiento de la representación de cargas positivas usando el símbolo (+) y de cargas negativas usando el símbolo (-) debido a que no están familiarizados con el lenguaje simbólico de la química, lo que les resulta más fácil describirlo que simbolizarlo.

En la representación de los compuestos iónicos de la actividad 4, vemos que las representaciones creadas por E2 y E3 en la figura 2 se muestra que dichas representaciones les faltó indicar la carga que toma cada átomo cuando se da la interacción entre el átomo cargado positivamente (+) y el átomo cargado negativamente (-) durante la formación de un

enlace iónico. Esto corrobora que el uso de la representación de cargas eléctricas para el enlace químico es inutilizable por los estudiantes E2 y E3.

En la representación de símbolos de elementos y fórmulas de compuestos químicos los E2 y E3 escriben símbolos de elementos químicos presentes en una fórmula de un compuesto químico, además son empleados en su discurso escrito y en dibujos o diagramas relacionados con el enlace químico. Por ejemplo, en la representación de Lewis los estudiantes usan los símbolos de elementos para ser introducidos en dicha fórmula, y luego también son usados en la fórmula estructural tal como es observado en la figura 5. También, el uso de elementos químicos para representar la molécula de agua son empleados por E2 y E3 en los dibujos realizados en la figura 6.

A pesar de que el enlace químico está implícito un simbolismo que muchas veces no es familiar para los estudiantes, quienes moderadamente mostraron avance en cuanto a la utilización de estos en muchas representaciones de fórmulas químicas, diagramas moleculares, fórmulas de Lewis; este planteamiento coincide con los hallazgos de Gkitzia, Salta, & Tzougraki (2020) quienes sostienen en sus investigaciones que existe un obstáculo en los estudiantes para moverse en los conceptos de los niveles de representación sobre todo para traducir el nivel submicroscópico hacia el simbólico.

Aunque es conveniente mencionar que el uso del simbolismo como lenguaje importante de la química resulta complicado ser empleado por los estudiantes para dar explicaciones a nivel submicroscópico. Es notable que en la aplicación del instrumento final este no fue usado de manera dominante en sus explicaciones permitiendo evidenciar esta dificultad.

Al recopilar la información dentro del análisis del nivel simbólico se puede decir que los obstáculos encontrados se configuran principalmente desde lo afirmado por Taber (2009) con respecto a que este nivel se trata de dominar un nuevo lenguaje que contiene en sí mismo un alto grado de abstracción, en consecuencia, para lograr este propósito según este autor los estudiantes deben poseer un amplio dominio conceptual desde los niveles macroscópico y submicroscópico. En este sentido, desde lo que se ha podido establecer en

esta investigación los posibles vacíos y dificultades evidenciadas en los niveles macroscópicos y submicroscópico pueden estar relacionadas de forma directa con los obstáculos observados dentro de la comprensión y dominio del nivel simbólico.

Por otra parte, dentro de los avances se puede citar la apropiación parcial de algunos símbolos propuestos en las representaciones de los enlaces químicos de forma desigual en ambos estudiantes. Dado que según Taber (2009), la gramática de la química y los símbolos están bastante relacionados; la comprensión del lenguaje de la química desde los conceptos más básicos incide en última instancia en el desarrollo de la habilidad de comprender el lenguaje simbólico. En consecuencia, es posible que los estudiantes se hayan apropiado correctamente del uso de algunos símbolos, pero hayan mostrado dificultad en la aplicación de otros, según la apropiación tanto conceptual como simbólica de los conceptos asociados al enlace químico.

Relación De Los Niveles De Representación 4

Basándose en el análisis de los tres niveles de representación de los conceptos relacionados al enlace químico, se llevó a cabo un análisis relacional entre los niveles de representación macroscópico, submicroscópico y simbólico, dado que en el aprendizaje de los conceptos y procesos de la química los estudiantes deben comprender, dar explicaciones y manejar el lenguaje simbólico propio de la química que les permitan dominar estos tres niveles de la materia propuestos por Johnstone (1982), aunque como establece (Taber, 2013), se debe adaptar el triángulo de manera efectiva en un contexto escolar que permita redescubrir cuando la química posee un nivel de fenómeno químico o conceptualización macroscópica, para darle explicación con la conceptualización microscópica, y dejando fuera del triángulo, el nivel simbólico, el cual toma el papel de interconector entre lo macroscópico y microscópico, mediante el uso del vocabulario técnico y las representaciones formales de la química.

En consecuencia, se realizará un análisis general del dominio de cada nivel durante el desarrollo de los conceptos trabajados estableciendo los avances y dificultades en cuanto al aprendizaje. En el nivel macroscópico, fue notable que los estudiantes presentaron un dominio aceptable de este nivel sin encontrar cambios perceptibles antes, durante y después de la intervención didáctica, dado que los estudiantes E2 y E3 lograron identificar y describir características o propiedades de la materia moderadamente través del uso de su percepción en compuestos químicos iónicos y covalentes.

Debido a la naturaleza submicroscópica del concepto del enlace químico, en esta investigación algunas preguntas establecidas en el instrumento inicial y final estaban orientadas a establecer explicaciones en este nivel y el uso de símbolos en la conceptualización del enlace químico, los estudiantes derivaron representaciones macroscópicas y simbólicas en conceptos relacionados al enlace químico bajo la percepción del fenómeno en su vida cotidiana, como por ejemplo los fenómenos asociados a las reacciones químicas manifestando errores conceptuales que se tradujeron en un obstáculo para afianzarse a la comprensión de los fenómenos a escala submicroscópica.

En consecuencia, hubo dificultad para generar explicaciones sobre las uniones químicas a nivel atómico con un dominio del lenguaje de la química, es decir, el lenguaje empleado por los estudiantes para explicar los conceptos asociados al enlace químico fue incompleto y poco riguroso, pues no incluía conceptos como: interacción entre electrones, fuerzas intermoleculares entre otros, para dar una representación estructurada a nivel submicroscópico y que evidentemente dificultó la creación de representaciones simbólicas tales como un lenguaje de fórmulas, símbolos y figuras geométricas adecuadas a este nivel.

Pese a que durante el desarrollo de la intervención didáctica, los conceptos sobre el enlace químico fueron aprendidos de manera regular, se evidenció que para los estudiantes brindar explicaciones de fenómenos químicos en términos del enlace químico, tanto en el instrumento inicial como en el final, se convierte en un desafío en el momento de emplear las construcciones teóricas que permitan crear representaciones a nivel submicroscópico tal como se describió en el anterior párrafo, por ende, hubo una dificultad para representar

simbólicamente el fenómeno y, dado que el nivel simbólico es fundamental para la comprensión del nivel submicroscópico de la materia, se convirtió en un inconveniente dominar este nivel y poder dar explicaciones con un uso del lenguaje a los conceptos asociados al enlace químico y haciendo uso de diagramas de barras y moleculares.

Dado a lo anterior expuesto, se puede deducir que el nivel submicroscópico está intrínsecamente relacionado con el lenguaje del nivel simbólico, ya Galagovsky et al (2003) establecen esta relación comentando que el nivel submicroscópico, en sí mismo, es un lenguaje del nivel simbólico.

Como se describió en el análisis del nivel simbólico, el cual hace referencia al progreso mínimamente perceptible del lenguaje simbólico implícito en el concepto del enlace químico durante la intervención didáctica por parte de los estudiantes, puesto que hubo un pequeño uso de este lenguaje simbólico en algunas representaciones encontradas en el instrumento final; dado que en el instrumento inicial no fueron observadas se puede inferir este hecho como un indicio de un pequeño avance de este nivel, sin embargo, predominaron más las dificultades de crear representaciones submicroscópicas, en virtud de que no hubo uso adecuado del simbolismo del enlace químico y la generación de representaciones simbólicas de fenómenos a escala atómica y molecular, dando origen a representaciones principalmente asociadas al nivel macroscópico.

Corroborándose la interconexión entre el nivel simbólico y submicroscópico en los estudiantes por los problemas de relación conceptual, además, evidenciándose entonces que el nivel simbólico es de mucho peso en la enseñanza y aprendizaje de la química si se tiene en cuenta que permite la comprensión del nivel macroscópico y submicroscópico de la materia. Por tal motivo, Taber (2013) sugiere que el nivel simbólico no puede separarse del nivel macroscópico y submicroscópico, sino que actúa como un puente para moverse entre los dos niveles.

8.2.3 Contribución Del Modelo Analógico En Los Cambios De Los Niveles De Representación En La Enseñanza Del Enlace Químico.

Las analogías aplicadas en la enseñanza de las ciencias promueven la movilización de un conocimiento desde un dominio conocido hacia uno desconocido (Godoy, 2002; Lawson, 1994); definido el primer dominio como la información analógica o conocida por el estudiante y el segundo, referido específicamente en el caso de esta investigación, a los conceptos asociados al enlace químico.

En este sentido, en la presente investigación se implementó el modelo didáctico analógico propuesto por Adúriz-Bravo, Garófalo, Greco, & Galagovsky (2005) como una herramienta del lenguaje para acercar a los estudiantes hacia el aprendizaje del enlace químico, a partir del cual se construyeron algunas actividades enmarcadas a promover cambios en cada uno de los niveles de representación (macroscópico, submicroscópico y simbólico) con el fin de generar un refinamiento en los conceptos asociados al enlace químico más acordes a los discursos aceptados por la comunidad científica para este campo específico de la química.

En concordancia con lo anterior, se pretende hacer un análisis en función de la contribución del modelo didáctico analógico (MDA) haciendo uso de la comprensión analógica establecidas en cada actividad y como el estudiantes transformaba el conocimiento que se establecía desde la ciencia escolar a la ciencia erudita a través de similitudes y diferencias, haciendo uso de procesos metacognitivos que dieran cuenta de un análisis riguroso para explicitar las transposiciones que operaron en los procesos de razonamiento analógico. En consecuencia, se permitió obtener en los estudiantes representaciones respecto al enlace químico.

Antes de abordar puntualmente el análisis es válido aclarar que, existe un predominio descriptivo de los hallazgos relacionados con el aporte de las analogías en la presente investigación sobre los posibles aportes, fundamentos teóricos y publicaciones previas como antecedentes; este hecho se encuentra sustentado en que durante el proceso de rastreo de fundamentos teóricos y antecedentes investigativos la información aportada por

las bases de datos que asocian al mismo tiempo los conceptos de analogías y niveles de representación fueron muy escasos.

A continuación, se da paso al análisis de hallazgos que relacionen los aportes del MDA al cambio en los niveles de representación para el enlace químico por parte de los estudiantes:

En la actividad 1 (Ver Anexo B), se estableció una analogía que pretendía identificar algunas representaciones submicroscópicas de las moléculas y del enlace químico entre átomos, tal como se muestra a continuación en la analogía propuesta:

Figura 1: Armado de figuras a partir de un cubo con imanes de neodimio

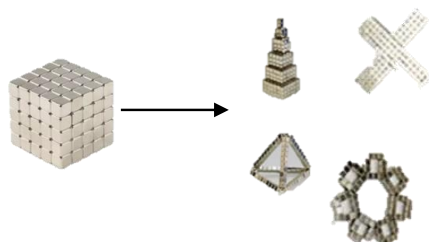
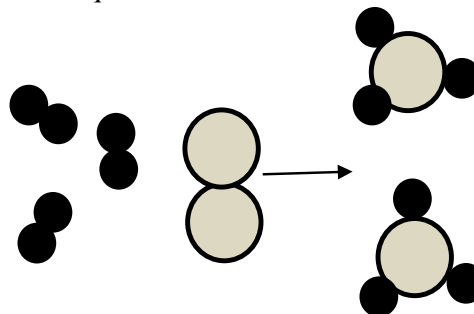


Figura 2: Modelo molecular de una reacción química.



Dada la situación analógica encontramos que hubo una comprensión parcial de la analogía, como por ejemplo, cuando al preguntarles sobre las similitudes encontradas entre la Figura 1 y la Figura 2, se encuentran respuestas como la del estudiante E2 *“las similitudes que encuentro es que en la figura 1 la fuerza de atracción de imanes de neodimio permite hacer diferentes figuras y en la figura 2 los enlaces de diferentes átomos permite crear diferentes modelos moleculares”*, mientras que el estudiante E3 responde *“que ambas son átomos que forman moléculas y que se atraen entre sí formando diferentes uniones y enlaces químicos pero cada uno en un modelo diferente y diferentes moléculas”*.

De acuerdo con las respuestas anteriores, se puede deducir como la analogía incorporó en el estudiante E2 representaciones a nivel submicroscópico con relación al enlace a químico al asumir que este resulta de la unión entre átomos debido a fuerzas de atracción dando como resultados moléculas que difieren en su estructura. Estos resultados

son consecuentes con la idea de que las analogías permiten a los estudiantes comprender conceptos abstractos y poco conocidos y en el caso de la química permiten conectar el conocimiento intuitivo previo del estudiante con representaciones submicroscópicas (Aragón &Oliva, 2020); teniendo en cuenta que las representaciones que incluyen modelos moleculares que representan interacción entre partículas hace parte del nivel submicroscópico de representación y por ende guarda un grado de abstracción prominente. En consecuencia, se nota una clara comprensión de la analogía su similitud y diferenciación con el modelo científico por parte del estudiante, mostrando un avance o cambio en la manera de representar el nivel submicroscópico a partir de la analogía presentada.

Para el caso del estudiante E3 observamos un fenómeno distinto en cuanto a la comprensión de la analogía, pues asocia directamente la analogía al concepto estudiado al referirse tanto a la representación con imanes como al modelo molecular como átomos y moléculas que forman uniones y enlaces; en este sentido el estudiante no manifiesta una diferenciación entre la estructura del análogo y el concepto explorado en la imagen de la representación submicroscópica molecular. Con respecto a este punto se puede establecer que existió una recepción pasiva de la analogía por parte del estudiante, atribuibles a dos posibles razones: la analogía le resultó complicada para su comprensión o no comprendió las similitudes que guarda con el modelo científico (Galagosky &Adúriz -Bravo, 2001). Por lo tanto, en este caso no existe evidencia de que el avance en un posible cambio presentado en el nivel submicroscópico a nivel de representaciones bidimensionales sea atribuible a la analogía presentada.

También se indagó, sobre el tamaño de los átomos a través del diagrama molecular de la reacción química de la figura 2 de la actividad 1, cuando se les preguntó sobre la representación de los círculos grandes y pequeños, encontramos que los estudiantes asumen que estos círculos corresponden a átomos o elementos químicos que presentan diferentes tamaños los cuales forman uniones químicas, esto lo podemos corroborar en las respuestas de los estudiantes, por ejemplo el estudiante E2 dice que *“representan los átomos de hidrogeno carbono y oxigeno”* y el estudiante E3 expresa que son *“átomos de diferentes*

elementos químicos de la tabla periódica que se unen formando moléculas que reaccionan con el calor o una temperatura determinada”.

A pesar de que los estudiantes logran generar una representación a nivel submicroscópico con relación al tamaño de los átomos en un diagrama molecular, se nota una confusión o inadecuada interpretación en el estudiante E2 dado que hace alusión de que dichos círculos en el diagrama molecular son los átomos de hidrógeno y oxígeno sin haber una simbología específica de estos átomos.

En este caso, el diagrama molecular fue relacionado por el estudiante con un dominio de conocimiento previo sin tener en cuenta la falta de información que proporcionaba dicho modelo, este hecho puede suceder por la tendencia natural de los alumnos de dar significación a los contenidos nuevos por asociación con otros conocimientos significativos ya disponibles (Galagosvky & Adúriz – Bravo, 2001); por lo tanto aunque la analogía contribuyó a relacionar dominios previos de conocimiento con la información disponible en la representación del modelo molecular en el nivel submicroscópico no lo realizó de manera correcta, pues si bien la asociación de átomos y elementos específicos que hacen parte de la molécula representada puede ser posible; no se puede tener certeza del tipo de átomos o elementos que forman dicha estructura.

Después de haber hecho el análisis con respecto a la analogía empleada para la actividad 1 (ver anexo B), generó procesos de razonamiento analógico que favorecieron en cierta medida de la comprensión del concepto del enlace químico, generándose representaciones a nivel submicroscópico en cuanto a la interacción entre átomos debido a fuerzas de atracción que hacen posibles la formación de enlaces químicos en una reacción química resultando sustancias que difieren molecularmente una de otra, sin embargo también existieron obstáculos relacionados con las interpretaciones inadecuadas de las analogías en algunos aspectos sobre todo al asociar directamente la analogía al modelo científico.

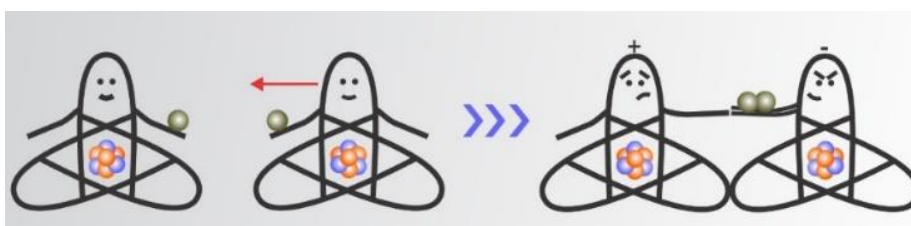
Para la actividad 2 (ver anexo B), se planteó una serie de analogías que permitieran comprender los diferentes tipos de enlace químico, además, generar representaciones

submicroscópicas en función de los diferentes tipos de interacciones que se presentan en cada tipo de enlace químico expuesto en la actividad.

Figura 7. Relación analógica para el enlace iónico



Imagen tomada de: <https://slideplayer.com/slide/7774263/>



Adaptado de: videos del curso de química study.com, *Chapter 5: Chemical Bonding*, <https://study.com/>

Con relación a la analogía planteada para la enseñanza del enlace iónico los alumnos lograron hacer una adecuada comprensión de la analogía, cuando, por ejemplo, el estudiante E2 describe que: “La similitud que hay entre estas uniones es que en la figura superior hay un cuerpo que posee mayor fuerza la que atrae el nudo hacia él. Al igual que en la figura inferior el átomo con mayor electronegatividad atrae los electrones del que posee menos electronegatividad”, mientras que el estudiante E3 manifiesta que: *la figura inferior es una representación de la superior donde la fuerza es la clave y los átomos negativos le ganan electrones al positivo quedando con mayor fuerza y carga*. Algo para resaltar, es como la analogía va incorporando parcialmente una idea conceptual del enlace iónico en función de la atracción de un átomo con mayor electronegatividad hacia uno menos electronegativo.

En el estudio de los tipos de enlace, a partir de las analogías ambos estudiantes incorporan correctamente conceptualizaciones del enlace iónico, mostrando desde el nivel submicroscópico un mayor uso del lenguaje científico de la química para emitir explicaciones acerca de la realidad representada; en consecuencia, la apropiación del lenguaje científico por parte de los estudiantes mediante la contextualización del conocimiento por medio de analogías fue evidente (Galagosvsky & Adúriz – Bravo, 2001), cumpliendo la analogía su cometido que en este caso particular se refiere a aprender a hablar y escribir ciencia desde el nivel submicroscópico de representación en el núcleo temático de enlace iónico.

Dada a la reestructuración conceptual y a los procesos metacognitivos del modelo analógico, este concepto fue mejor estructurado en el estudiante E2 que en el estudiante E3, puesto que E2 se refirió al enlace iónico como: *“la interacción que ocurre en el enlace iónico es que dos átomos uno metálico y otro no metálico se unen y el elemento más electronegativo atrae con fuerza un electrón del elemento metálico quedando así cargado negativamente y el otro positivamente”*, y el estudiante E3 expresó que: *“ocurren interacciones con elementos que atraen con fuerza electrones de otros elementos con la electronegatividad que cada uno ejerce en sí”*.

Según lo expuesto por los estudiantes, se evidenció una representación conceptual submicroscópica del enlace iónico en términos de interacción de átomos que difieren en su electronegatividad y causa de la fuerza de atracción del átomo más electronegativo (átomo no metal) hacia el átomo menos electronegativo (átomo metálico) quedando estos en forma de iones. De este modo, podemos concluir en este apartado que el estudiante E2 generó una representación aproximada al concepto de enlace iónico con relación al estudiante E3 el cual es atribuido a una mejor comprensión analógica, puesto que este concepto es interpretado como una interacción debida a la fuerza de atracción entre iones (Caamaño, 2016).

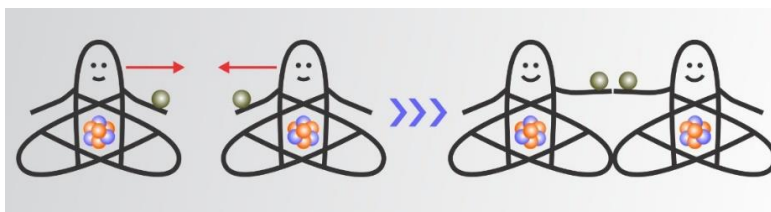
La analogía propuesta para comprensión del concepto enlace covalente, demostró una aceptable comprensión de la analogía propuesta (ver figura 8) por parte de los

estudiantes E2 y E3. Aunque, el estudiante E2 realizó una mejor comprensión analógica al pasar de la información conocida para hacer una adecuada representación conceptual a nivel submicroscópico del concepto de enlace químico, mientras que el estudiante E3 se le dificultó hacer una correcta conceptualización del enlace covalente. Esto es atribuido a que el estudiante E2 realizó un mejor proceso de analogación que el estudiante E3, dado que promovió la transferencia y desplazamiento del contenido estudiado al hacer el análisis de la analogía con la información científica dada.

Figura 8. Relación analógica para el enlace covalente.



Imagen tomada de: https://es.123rf.com/imagenes-de-archivo/tirar_cuerda.html?sti=n09tzzx6ujjl7hdn6ol&mediapopup=52312724.



Adaptado de: videos del curso de química study.com, *Chapter 5: Chemical Bonding*, <https://study.com/>

Lo descrito en el anterior párrafo es evidenciado, cuando se les pregunta sobre las similitudes existentes entre la figura de parte superior e inferior descrita en la figura 8. El estudiante E2 comenta que: “*en la figura superior los cuerpos poseen igual fuerza lo que hace que el nudo sea atraído hacia uno en específico. Al igual que en la figura inferior no hay un átomo con mayor electronegatividad que atraiga al electron del otro*”. Mientras que el estudiante E3 expone “*Ambas imágenes representan el mismo el concepto de la imagen inferior es el de la representación de la imagen superior así ambas son muy similares*”.

Es notable como el E2 asimila mejor el concepto que el estudiante E3, al hacer el proceso de analogación anterior descrito con claridad conceptual dado que establece una representación submicroscópica del enlace covalente en términos de compartición de

electrones cuando manifiesta “... esta unión representa un enlace covalente por que la fuerza de atracción que hace un átomo sobre el otro no es notable lo que hace que sus electrones no sean atraídos si no que da la impresión de compartición”, mientras que el estudiante E3, no logra representar el concepto de enlace covalente ya que lo explica en términos de atracción de iones cuando expone “la forma como cada uno de los átomos e iones de los individuos se mueven ejerciendo una fuerza mayor y atrayendo más iones o electrones para sí”.

Es notable como la representación de E3 se aleja de la concepción teórica del enlace covalente, el cual es definido como una compartición de electrones donde existe una atracción entre electrones compartidos y núcleos (Caamaño, 2016). Es importante resaltar en la representación descrita por el estudiante E3 el uso de terminologías animistas y antropomórficas al dar una explicación del enlace covalente cuando expresa “...de los individuos se mueven ejerciendo una fuerza mayor y atrayendo...”, ya Taber & Watts (1996) hacen referencias de este tipo de lenguaje en estudios sobre el enlace químico.

Como se demostrado la interpretación de la analogía para el enlace covalente resulta desigual en ambos estudiantes, este hecho puede tener su explicación en los posibles modelos mentales e idiosincráticos de los estudiantes al realizar su propia interpretación y asociación entre el análogo y el concepto representado (enlace covalente) dado que los estudiantes construyen sus propios modelos mentales idiosincráticos en función de la información que reciben de sus profesores y de los textos, basados en el sentido común (Adúriz – Bravo, Garófalo, Greco & Galagosvky; 2005).

Los dos estudiantes analizados pertenecen a instituciones educativas distintas, pero con contextos rurales similares; pese a ello, es posible que existan factores en la idiosincrasia e interpretación de la realidad y los conceptos que cada uno pueda construir obedeciendo precisamente a las construcciones teóricas desde los modelos mentales. De acuerdo con lo anterior, es posible que la analogía del enlace covalente haya favorecido la visualización de este concepto abstracto desde el nivel submicroscópico de representación para uno de los estudiantes, E2, (Adúriz – Bravo, Garófalo, Greco & Galagosvky; 2005);

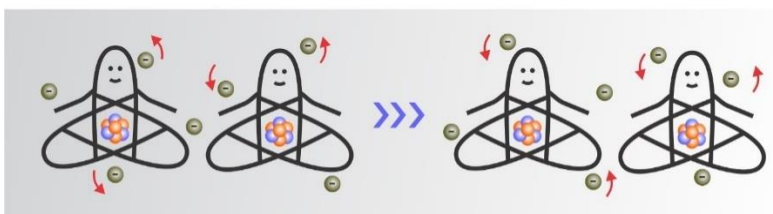
mientras que para el otro no ,E3, en parte teniendo en cuenta que uno de los lados negativos de la enseñanza por analogías establece que puede existir una retención de aspectos superficiales o pintorescos tanto del concepto como del análogo (Ravíolo & Garritz, 2007); alcanzando uno de los estudiantes la profundización conceptual desde la abstracción en el nivel submicroscópico para esta unidad conceptual en particular mientras que el otro solo realiza una descripción superficial del evento observado.

La analogía propuesta para la comprensión del concepto del enlace metálico mostró el mismo comportamiento con la analogía presentada para el aprendizaje del enlace covalente, el estudiante E2 hace un mejor proceso de razonamiento analógico con respecto al estudiante E3. Esto es notable cuando se les pregunta sobre las similitudes existentes entre la figura de parte superior e inferior descrita en la figura 9. El estudiante E2 comenta que: *“en la figura superior la miel que se desliza por todas las galletas sirve como pegamento para que estas se unan. Al igual que en la figura inferior los electrones libres alrededor de los átomos forman una nube electrónica que sirve como pegamento para que se adhiera los cationes metálicos”*. Mientras que el estudiante E3 expone: *“todas dos tienen la misma representación del movimiento que hace la imagen superior en una interacción mutua de los elementos de la imagen superior”*.

Figura 9. Relación analógica para el enlace metálico



Imagen tomada de: <https://www.shutterstock.com/th/video/clip-32358538-waffles-honey-berries-close-up-healthy-breakfast-pouring>



Adaptado de: videos del curso de química study.com, *Chapter 5: Chemical Bonding*, <https://study.com/>

Ante lo planteado anteriormente, el estudiante E2 crea una representación submicroscópica con relación al enlace metálico exponiendo que: “*los electrones de valencia libres de los átomos forman una nube electrónica que actúa como pegamento donde se adhieren los cationes metálicos*”, mientras que el estudiante E3 lo describió como una: “*interacción que tienen los átomos para permitir el movimiento de los elementos que interactúan uno sobre el otro*. Ante las representaciones creadas a nivel submicroscópico y dado que en el enlace metálico existe una atracción entre cationes y electrones de valencia (Caamaño, 2016), el estudiante E2 demostró un mejor aprendizaje ya que su representación es más aproximada a la definición del enlace metálico que la del estudiante E3.

Las anteriores descripciones proporcionaron información de como el estudiante E2 realiza un mejor análisis para comprender el concepto del enlace metálico mediante el uso

de la analogía que el estudiante E3 y crear representaciones a nivel submicroscópico en función de esta concepción, manteniendo la tendencia que manifiestan desde el análisis del enlace covalente y corroborando lo mencionado previamente con respecto a la idiosincrasia, los modelos mentales y las posibles fallas del modelo analógico.

En la actividad 3, se focalizaron a las representaciones relacionadas a la naturaleza del enlace químico con las propiedades de la materia. Se planteó una analogía en la que establecieron varios materiales, de los cuales se propuso hacer una relación de las características y comportamientos con la naturaleza química que los constituyen (ver anexo B), luego se mostró una tabla donde se especificaba que ocurría cuando una sustancia se calentaba, se disolvía en agua y si conducía la corriente eléctrica en su estado natural o disuelta en agua. A pesar de que existieron algunas dificultades conceptuales en los estudiantes, en tópicos de la química como fusión, descomposición térmica de una sustancia, solubilidad y conductibilidad eléctrica tal como fue explicado en el análisis de las representaciones nivel macroscópico, los estudiantes E2 y E3 lograron relacionar la estructura y el comportamiento de una sustancia con el enlace químico, además, manifestar características que presentan los compuestos iónicos, covalentes y metálicos.

Un ejemplo de lo manifestado anteriormente con relación a la clasificación de las sustancias sal de cocina, azúcar o sacarosa, clavo de hierro, bicarbonato de sodio, urea, alambre de cobre y su relación con el enlace químico, el estudiante E2 pudo clasificar a la sal y bicarbonato de sodio como sustancias que presentan fuerzas de atracción fuerte y describir que la unión química de estas sustancias es dada por un enlace iónico. Con las sustancias azúcar, urea como sustancias que presentan fuerzas de atracción débiles y describir que la unión química de estas sustancias es dada por un enlace covalente.

Mientras que el clavo de hierro, alambre de cobre urea como sustancias que presentan fuerzas de atracción fuertes y describir que la unión química de estas sustancias es dada por un enlace metálico. Mientras que el estudiante E3, no logro realizar correctamente lo anterior descrito. Esto permite decir, que el proceso de razonamiento analógico realizado por el estudiante E2 fue mucho mejor estructurado que el realizado por

el estudiante E3, puesto que permitió conectar el nivel macroscópico con nivel submicroscópico de la materia.

Con relación a las propiedades de los compuestos iónicos, covalentes y metálicos, los estudiantes E2 y E3 no presentaron dificultades para emitir características de estos, dado a que están más familiarizados con el nivel macroscópico de la materia. Es importante en esta actividad 3, la manera en que el modelo analógico logra hacer comprensión de la conexión que existe entre la naturaleza de una sustancia con la fuerza de atracción entre sus átomos para determinar el tipo de enlace químico y las propiedades de la materia permitiendo al estudiante movilizarse del nivel macroscópico al nivel submicroscópico.

En la literatura rastreada no se hallaron evidencias relacionadas con el poder explicativo de las analogías frente al nivel macroscópico de representación; este fenómeno se entiende desde la conceptualización y la justificación del diseño de las analogías puesto que se ha establecido que las analogías contribuyen principalmente a la visualización de conceptos abstractos (Ravíolo & Garritz, 2007), siendo el nivel macroscópico definido como observable, cuya percepción y asimilación viene dada por los sentidos, el concepto de abstracción es escasamente aplicable a este nivel; sin embargo se mantiene la tendencia de los estudiantes en cuanto al dominio conceptual del enlace químico expuesto en el nivel de submicroscópico, donde el estudiante E2 manifiesta un avance más notorio que el estudiante E3; este hecho puede ser explicado a la luz de la teoría de los modelos mentales explicada previamente.

La actividad 4, se focalizó en reconocer las formas de representaciones a nivel simbólico del enlace químico. La analogía propuesta se presentó en modo de un juego la cual consistía en unir fichas de rompecabezas las cuales estaban marcadas con letras y crear combinaciones entre las fichas y, así, generar una composición entre ésta, tal como se observa en la imagen 10.

Figura 10. Guía de orientación de las fichas del análogo para la formación de combinaciones.

COMPOSICIÓN



4 Fichas de A

1 Ficha de H

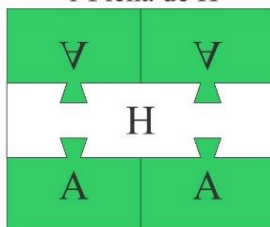


Imagen: Creación propia©.

Luego se les brindo unas fichas, pero en este caso estaban representadas con el símbolo químico de un elemento, la carga de este cuando esta ionizado o por puntos que representan los electrones de valencia, además de lo anterior, debían unir las fichas para formar compuestos con una determinada fórmula química y formar una figura con geometría propia al combinarse estas fichas (ver figura 4). Por tanto, debían hacer el mismo proceso, pero ahora tenían que tener en cuenta que las fichas al combinarse generaban una composición que representaba a un compuesto iónico o covalente. Planteada esta analogía, los estudiantes lograron resolver sin ninguna dificultad lo propuesto.

Adicionalmente, al preguntarles si al resolver la actividad del juego, encontró algún parecido en la forma como resolvió la actividad que consistía en la ficha para armar compuestos. El estudiante E2 respondió: *“Si encuentre parecido por que en el juego se tenia que encontrar las fichas que armaron la figura y en la actividad para armar compuestos era igual encontrar las fichas para armar los diferentes enlaces y la estructura de Lewis”*, mientras que el estudiante E3 respondió: *“Encontre mucho parecido porque en todos dos las fichas que agarraba siempre encajaban bien y todo concuerdaba con lo que yo iba armando y escribiendo. Pero también se diferenciaban porque habían fichas iguales y tuve que calcular mentalmente las que encajaban correctamente”*.

Ante las anteriores respuestas de los estudiantes, vemos que los estudiantes hacen el ejercicio adecuado, pero se nota que el estudiante E2 logra asimilar mejor el proceso de razonamiento analógico en comparación con el estudiante E3. Esto se corrobora al representar la fórmula molecular de las combinaciones de los átomos dados y en la representación de Lewis, tal como se observa en la figura 5 y en la tabla 12.

De este modo encontramos coincidencias en los análisis de los niveles submicroscópico y macroscópico respectivamente; donde el estudiante E2 manifiesta un mayor dominio en este caso en el uso de símbolos y su ubicación que E3 corroborando lo que propone el triángulo creado por Jonhstone (1982) en donde cada nivel no es independiente sino que contribuye de manera integral a la comprensión de cualquier núcleo temático de la química es por ello que se nota una desigualdad en las aportaciones de las analogías hacia la transición en el aprendizaje del concepto de enlace químico; es decir el estudiante que manifestó un mayor dominio conceptual desde un nivel de representación con respecto al otro estudiante lo hizo en todos los niveles de representación a partir de las analogías propuestas.

Tabla 12. Formulas moleculas generadas a través de la combinación de las fichas establecidas en la figura 5.

Respuestas del E2		Respuestas del E3	
Átomos	Formula molecular	Átomos	Formula molecular
H y O	H ₂ O	H y O	H ₂ O
Na y Cl	NaCl	Na y Cl	Na ₄ Cl
O y O	O ₂	O y O	O ₁₂
Ca y Br	CaBr ₂	Ca y Br	Ca ₂ Br ₂

También es importante mencionar como esta analogía potencia el aprendizaje del nivel simbólico del enlace químico creando representaciones de fórmulas moleculares de compuestos químicos a través del empleo del símbolo de elementos químicos y subíndices, también, el empleo de puntos que simbolizan a los electrones de valencia de un elemento químico enlazado o libre, símbolos (+) y (-) para designar la carga de un ion, símbolo del

guion (-) o la intersección de dos puntos (••) para indicar un enlace químico en representaciones de la estructura de Lewis por parte de los estudiantes E2 y E3.

Si bien el modelo didáctico analógico empleado potenció el aprendizaje del enlace químico e incorporó representaciones a nivel macroscópico, submicroscópico y simbólico tal como se expuso en el análisis de las 4 actividades empleadas manifestando procesos de razonamiento analógico y procesos metacognitivos, también mostró dificultades en el uso de las analogías empleadas, ya Coll et al. (2006) mencionan las dificultades de trabajar con analogías y, asumimos que en este trabajo de investigación al desarrollarse la intervención didáctica en tiempo de pandemia del COVID-19, la interrelación profesor – estudiante de manera presencial no fue dada y por consiguiente el empleo de múltiples modos durante la enseñanza y aprendizaje del enlace químico no se evidenció desfavoreciendo la multimodalidad, tal como lo manifiesta Tamayo, Cadavid, & Dávila (2018), este proceso es fundamental dado que permiten construir múltiples lenguajes que favorecen la enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

9 CONCLUSIONES

El propósito central de la presente investigación consiste en la descripción en los cambios en los niveles de representación en estudiantes del grado décimo con el empleo de un modelo analógico como estrategia didáctica mediadora entre los dominios de conocimientos familiares para los estudiantes hacia los dominios desconocidos relacionados con los modelos científicos que explican las teorizaciones de la química.

Las conceptualizaciones del enlace químico enmarcadas desde los niveles de representación, arrojó hallazgos en el nivel macroscópico que no permitieron evidenciar avances notables puesto que al caracterizar los cambios en los niveles de representación en este nivel presentaron similitud en las respuestas encontradas en los instrumentos de indagación inicial y final. Se observó que los estudiantes se encuentran familiarizados con fenómenos macroscópicos de la materia, en virtud de que se trata del nivel definido como el más realista al ser percibido por los sentidos, sin embargo, sus avances conceptuales generales no fueron muy perceptibles posiblemente atribuible a la ausencia de actividades que impliquen laboratorios. El estancamiento anteriormente manifestado puede asociarse a la ausencia de actividades o proyectos de laboratorios cuya importancia en el dominio de este nivel ha sido remarcada por Tsaparlis (2009).

Para los niveles submicroscópico y simbólico, se encontraron tanto avances como obstáculos en el aprendizaje. Los avances mostrados en el nivel submicroscópico se fundamentan en dos aspectos: una mayor frecuencia en el uso del lenguaje de la química, al mismo tiempo que el empleo de diagramas representacionales de lo invisible por parte de los estudiantes. Sin embargo, también fueron hallados obstáculos relacionados con el uso de descripciones macroscópicas a eventos en donde se requiere explicaciones más cercanas a nivel submicroscópico asociado a nivel atómico y molecular de la materia, este obstáculo fue descrito también por Ben-Zvi, Eylon, & Silberstei (1986).

Otra dificultad encontrada en el nivel submicroscópico, fue el empleo de terminologías antropomórficas y animistas para describir el comportamiento químico de algunas sustancias, este hallazgo coincide con lo encontrado por Taber & Watts (1996).

El nivel simbólico de representación mostró una apropiación parcial de los símbolos propuestos para el enlace químico, además es notable el aprendizaje desigual de los estudiantes, este fenómeno puede ser atribuido a lo observado por Taber (2009) y Johnstone (1991) acerca de la conexión entre los niveles de representación, en este sentido se aprecia que para comprender y dominar un concepto al nivel simbólico se requiere de un dominio notable en los otros niveles de representación.

Con respecto a la contribución de las analogías, se destaca principalmente que la estructura de las analogías permitió aproximar las construcciones de los estudiantes acerca del enlace químico con las representaciones submicroscópicas y simbólicas para esta unidad temática y hacen parte de los modelos científicos propuestos en la actualidad. Sin embargo este proceso de avance hacia el dominio del concepto científico para el enlace químico fue de manera parcial, teniendo en cuenta que el estudiante E3 manifestó obstáculos notables mientras que el estudiante E2 realizó un proceso de razonamiento analógico medianamente satisfactorio, la dificultad anotada anteriormente, es manifestada tanto en el nivel submicroscópico como en el simbólico, encontrando su explicación en dos aspectos, los modelos mentales, la idiosincrasia de los estudiantes (Galagovsky & Adúriz Bravo, 2001) y la interpretación de la analogía que pudieron tener mayor claridad para un estudiante que para el otro; de acuerdo con Raviolo & Garritz (2007), las analogías podrían no lograr su finalidad por no generar una comprensión en su estructura o funcionalidad para el estudiante.

10 RECOMENDACIONES

- Proponer estudios e investigaciones que ahonden en los posibles aportes de los niveles de representación y las analogías en la enseñanza de la química, principalmente para la educación básica y media en nuestro país.
- Acoger la enseñanza de la química por niveles de representación de forma explícita dentro del currículo escolar en la secundaria, puesto que actualmente en Colombia no está estipulada la implementación de este tipo de propuestas didácticas.
- Incorporar el modelo didáctico analógico como propuesta de enseñanza de la química específicamente por niveles de representación, con el propósito de contribuir al aprendizaje de los estudiantes de una ciencia que ha sido catalogada como difícil de enseñar a lo largo de los años.
- Promover la enseñanza de la química empleando los niveles de representación a través de distintas estrategias metodológicas que incorporen el contexto del estudiante, el contexto social, económico, tecnológico y en general las características que conduzcan a establecer redes conceptuales acordes a los criterios de aprendizaje de la química como ciencia.
- Profundizar mediante instrumentos didácticos la conceptualización y la construcción discursiva de la química en el aula, partiendo de las concepciones alternativas de los estudiantes para brindarles a partir de allí las herramientas que les permitan modificar su conceptualización hacia las concepciones más aceptadas teóricamente que fundamentan esta ciencia.

11 REFERENCIAS

- Adúriz-Bravo, A., Garófalo, J., Greco, M., & Galagovsky, L. (2005). Modelo Didáctico Analógico : marco teórico y ejemplos. *Enseñanza de Las Ciencias, Número Ext(VII Congreso)*, 1–6.
- Alarcón Rodríguez, L. Y. (2017). *Modelo didáctico analógico de enlace químico: caracterización de las formas de significar de los estudiantes de educación media*. Universidad Pedagógica Nacional.
- Álvarez Tamayo, O. D. (2013). Las unidades didácticas en la enseñanza de las Ciencias Naturales, Educación Ambiental y Pensamiento Lógico Matemático. *Itinerario Educativo*, 62, 115–135.
- Andersson, B. (1990). Pupils' Conceptions of Matter and its Transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18(1), 53–85.
<https://doi.org/10.1080/03057269008559981>
- Aragón, M. del M., & Oliva, J. M. (2020). Relación entre la competencia de pensamiento analógico y la competencia de modelización en torno al cambio químico. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de Las Ciencias*, 15(1), 83–100.
<https://doi.org/http://doi.org/10.14483/23464712.14441>
- Barke, H. D. (1997). The Structure-oriented approach. In Gräber; Bolte. C (Ed.), *Demonstrated at the example of interdisciplinary teaching spatial abilities*. Hamburg: Scientific literacy.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B. S., & Silberstein, J. (1986). Is an atom of copper malleable? *Journal of Chemical Education*, 63(1), 64–66. <https://doi.org/10.1021/ed063p64>
- Blanco Sanchez, G., & Varcárcel Pérez, M. . (1993). Diseño de unidades didácticas en el área de Ciencias Experimentales. *Enseñanza de Las Ciencia*, 11(1), 33–44.
- Bowen, C. W., & Phelps, A. J. (1997). Demonstration-based cooperative testing in general chemistry: A broader assessment-of-learning technique. *Journal of Chemical Education*, 74(6), 715–719. <https://doi.org/10.1021/ed074p715>
- Bucat, B., & Mocerino, M. (2009). *Learning at the Sub-micro Level: Structural Representations*. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_2
- Caamaño, A. (2013). Hacer unidades didácticas: una tarea fundamental en la planificación de las clases de ciencias. *Alambique Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, 74, 5–11.
- Caamaño, A. (2014). La estructura conceptual de la química: realidad, conceptos y representaciones simbólicas. *Alambique: Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, (78), 7–20.

- Caamaño, A. (2016). Secuenciación didáctica para el aprendizaje de los modelos de enlace. *Alambique*, (October), 39–45.
- Campanario, Juan Miguel; Moya, A. (1999). *¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas*. 17(2), 179–192.
- Candela Rodríguez, B. F., & Viafara Ortiz, R. (2014). *Apreniendo a enseñar Química*. Programa Editorial Universidad del Valle.
- Chittleborough, G. D. (2004). The Role of Teaching Models and Chemical Representations in Developing Students' Mental Models of Chemical Phenomena. Curtin University of Technology.
- Coll, R. K., France, B., & Taylor, I. (2006). El papel de los modelos y analogías en la educación en ciencias: implicaciones desde la investigación. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 3(1), 160–162.
https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2006.v3.i1.12
- Coll, R., & Taylor, N. (2001). Alternative conceptions of chemical bonding held by upper secondary and tertiary students. *Research in Science and Technological Education*, 19(2), 171–191. <https://doi.org/10.1080/02635140120057713>
- Couso, D. (1994). La elaboración de unidades didácticas i competenciales. *Alambique: Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, ISSN 1133-9837, Nº 74, 2013, Págs. 12-24, (74), 12–24.
- Crespo, M. Á. G., & Pozo, J. I. (2004). Relationships between everyday knowledge and scientific knowledge: understanding how matter changes. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1325–1343.
<https://doi.org/10.1080/0950069042000205350>
- Cutrera, G., & Stipcich, S. (2016). El triplete químico. Estado de situación de una idea central en la enseñanza de la Química The chemical triplet. State of situation of a central idea in teaching chemistry. *Revista Electrónica Sobre Cuerpos Académicos y Grupos de Investigación En Iberoamérica*, 3(6), 1–24.
- Davidowitz, B., & Chittleborough, G. (2009). *Linking the Macroscopic and Sub-microscopic Levels: Diagrams*. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_9
- De Posada, J. M. (1999). Concepciones de los alumnos sobre el enlace químico antes, durante y después de la enseñanza formal. *Enseñanza de Las Ciencias*, 17(2), 227–245. Retrieved from <http://ddd.uab.cat/record/1440>
- Deslauriers, J. P. (2004). *Investigación cualitativa: guía práctica* (Papiro, Ed.). Pereira, Colombia.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), 649–672. <https://doi.org/10.1002/sci.3730750606>

- Fauzi, H., Farida, I., Sukmawardani, Y., & Irwansyah, F. S. (2019). The making of e-module based in inquiry on chemical bonding concept with representation ability oriented. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402 05505. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/5/055059>
- Fernandes, L. dos S., Fernandes, A., & Marcelino, C. (2010). Concepções alternativas dos estudantes sobre ligação química. *Experiências Em Ensino de Ciências*, 5(3), 19–27.
- Fernandez, C., & Marcondes, E. R. (2006). Concepções dos Estudantes sobre Ligação Química. *Química Nova Na Escola*, 24, 20–24. Retrieved from <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc24/af1.pdf>
- Fernández González, J., Moreno Jiménez, T., & González González, B. . (2003). Las analogías como modelo y como recurso en la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 35, 82–89.
- Fitriani, E., Suhartono, S., & Mugiarti, I. (2019). Make it real: Simulation of 3D molecules using Augmented Reality in chemical bonding topic. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402 05505, 1–5. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/5/055058>
- Gabel, D. (1993). Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, 70(3), 193. <https://doi.org/10.1021/ed070p193>
- Gabel, D. (1999). Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education*, 76(2–4), 548–554. <https://doi.org/10.1021/ed076p548>
- Gagliardi, R & Giordan, A. (1983). Enseñanza de las ciencias revista de investigación y experiencias didácticas. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 4(3), 253–258.
- Galagovsky, L. (1993). *Hacia un nuevo rol docente: Una propuesta diferente para el trabajo en el aula*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Troquel S.A.
- Galagovsky, L. R. (2004a). Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte 1: El modelo teórico. *Enseñanza de Las Ciencias*, 22(2), 229–240.
- Galagovsky, L. R. (2004b). Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte 2: comunicacionales y didácticas. *Enseñanza de Las Ciencias*, 22(3), 349–364.
- Galagovsky, L. R., & Adúriz Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico ciencia erudita y ciencia escolar: los modelos mentales. *Enseñanza de Las Ciencias*, 19(2), 231–242.
- Galagovsky, L. R., Rodríguez, M. A., Stamati, N., & Morales, L. (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*, 21(1), 107-121–121.
- Gentner, D. (1983). Structure-Mapping : A Theoretical Framework for Analogy. *Cognitive Science*, 7(2), 155–170.
- Gentner, D., & Markman, A. B. (1997). Structure Mapping in Analogy and Similarity. *American Psychologist*, 52(1), 45–56. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.52.1.45>
- Gilbert, J., & Treagust, D. (2009). Multiple Representations in Chemical Education. In John K. Gilbert & D. Treagust (Eds.), *Models and Modeling in Science Education* (1st ed., Vol. 4). <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8>
- Gkitzia, V., Salta, K., & Tzougraki, C. (2020). Students' competence in translating between different types of chemical representations. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(1), 307–330. <https://doi.org/10.1039/c8rp00301g>
- Glynn, S. (1990). La enseñanza por medio de modelos analógicos. In K. Denise (Ed.), *El texto expositivo*. Buenos Aires, Argentina: Aique.
- Glynn, S. (1991). Explaining science concepts: a teaching with analogies model. In *The psychology of learning science*. Hillsdale, Erlbaum.
- Godoy, L. A. (2002). Sobre la estructura de las analogías en ciencias. *Interciencia*, 27(8), 422–429.
- González-Felipe, M. E. (2017). *El Enlace Químico en la Educación Secundaria . Estrategias didácticas que*. Universidad de Castilla-La Mancha.
- Haim, L., Cortón, E., Kocmur, S., & Galagovsky, L. (2003). Applications and Analogies Learning Stoichiometry with Hamburger Sandwiches. *Journal of Chemical Education*, 80(9), 1021–1022.
- Harrison, A. G., & Coll, R. K. (2008). *Using analogies in middle and secondary science classrooms : the FAR guide--an interesting way to teach with analogies*. Corwin Press.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1993). *Teaching with Analogies : A Case Study in Grade-10 Optics*. 30(10), 1291–1307.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2015). *Metodología de la investigación* (Sexta, Vol. 3). Retrieved from <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>
- Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1989). Analogical Mapping by Constraint Satisfaction. *Cognitive Science*, 13(3), 295–355.
- Izquierdo, M., Sanmartí, N., & Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de Las Ciencias*, 17(1), 45–

59.

- Johnstone, A. (1982). Macro and micro chemistry. *School and Science Review*, 64, 295–305.
- Johnstone, A. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75–83.
- Johnstone, A. (1993). Symposium on fievolution and Evolution in Chemical Education The Development of Chemistry Teaching. *The Forum*, 70(9), 701–705.
- Johnstone, A. (2000). Teaching of chemistry - logical or psychological? *Chemistry Education: Research And Practice in Europe*, 1(1), 9–15.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1039/A9RP90001B>
- Johnstone, A. (2009). Multiple Representations in Chemical Education. In *International Journal of Science Education* (Vol. 31). <https://doi.org/10.1080/09500690903211393>
- Johnstone, A., & Al-Shuaili, A. (2001). Review. *U.Chem.Ed*, 5, 42–51.
- Kozma, R. B., & Russell, J. (1997). Multimedia and Understanding: Expert and Novice Responses to Different Representations of Chemical Phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 949–968. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199711\)34:9<949::AID-TEA7>3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199711)34:9<949::AID-TEA7>3.0.CO;2-U)
- Lawson, A. (1994). *Research on the Acquisition od Science Knowledge: epistemological foundations of cognition; en Handbook of Research in Science Teaching and Tearning*, (Gabel Ed). New York: MacMillan Publishing Company, NY.
- Lemke, J. L. (1990). Talking science: language, learning, and values. In *Choice Reviews Online* (Vol. 28). <https://doi.org/10.5860/choice.28-5211>
- Levy Nahum, T., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., & Taber, K. S. (2010). Teaching and learning the concept of chemical bonding. *Studies in Science Education*, 46(2), 179–207. <https://doi.org/10.1080/03057267.2010.504548>
- Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515–535. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614762>
- Muñoz Galván, M. (2010). *Conociendo los modelos materiales sobre enlace químico a través de una Unidad didáctica basada en la enseñanza de los modelos y el modelaje científico, para nivel medio superior*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Nahum, T., Mamlok - Naaman, R., Hofstein, A., Krajcik, J. (2007). Developing a New Teaching Approach for the Chemical Bonding Concept Aligned With Current Scientific and Pedagogical Knowledge TAMI. *Science Education*, 91(4), 579–603. <https://doi.org/10.1002/sce.20201>

- Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry: Chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 191–196. <https://doi.org/10.1021/ed069p191>
- Nicoll, G. (2001). A report of undergraduates' bonding misconceptions. *International Journal of Science Education*, 23(7), 707–730. <https://doi.org/10.1080/09500690010025012>
- Nurrenbern, S. C., & Pickering, M. (1987). Concept learning versus problem solving: Is there a difference? *Journal of Chemical Education*, 64(6), 508. <https://doi.org/10.1021/ed064p508>
- Oliva, J. M., & Aragón, M. del M. (2017). *Modelización y pensamiento analógico en el aprendizaje del cambio químico*. 4363–4370. Sevilla, España: X congreso internacional sobre investigación en didáctica de las ciencias.
- Ordenes, R., Arellano, M., Jara, R., & Merino, C. (2014). Representaciones macroscópicas, submicroscópicas y simbólicas sobre la materia. *Educación Química*, 25(1), 46–55. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70523-3](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70523-3)
- Özmen, H. (2004). Some Student Misconceptions in Chemistry: A Literature Review of Chemical Bonding. *Journal of Science Education and Technology*, 13(2), 147–159. <https://doi.org/10.1023/b:jost.0000031255.92943.6d>
- Pozo Municipio, J. I., & Gómez Crespo, M. A. (2006). ¿Por qué los alumnos no aprenden la ciencia que se les enseña? In S. . Ediciones Morata (Ed.), *Aprender y enseñar ciencia* (Quinta, pp. 1–330). Madrid, España.
- Prieto, A. (2019). *Representaciones en el Aprendizaje de la Química y Estilo Cognitivo*. Universidad Pedagógica Nacional.
- Raghavan, K., & Glaser, R. (1995). Model-based analysis and reasoning in science: The MARS curriculum. *Science Education*, 79(1), 37–61. <https://doi.org/10.1002/sce.3730790104>
- Raviolo, A., & Garritz, A. (2007a). Analogías en la enseñanza del equilibrio químico. *Educación Química*, 18 (1), 15–28.
- Raviolo, A., & Garritz, A. (2007b). Uso de las analogías en la enseñanza de la química: necesidad de elaborar decálogos e inventarios. *Alambique*, 51, 28–39.
- Raviolo, A., Siracua, P., Gennari, F., & Corso, H. (2004). Utilización de un Modelo Analógico para Facilitar la Comprensión del Proceso de Preperación de Disoluciones. *Enseñanza de Las Ciencias*, 22(3), 379–388.
- Rery, R. U., Copriady, J., Alimin, M., & Albeta, S. W. (2019). *Students' Understanding Based on Flow Map Structure in Chemical Bonding*. 431–435. Pekanbaru, Indonesia: Joint International Conference: Seminar Serantau ke-9 and 3rd Universitas Riau

International Conference on Educational Sciences.

- Riboldi, L., Pliego, Ó., & Odetti, H. (2004). El enlace químico: una conceptualización poco comprendida. *Enseñanza de Las Ciencia*, 22(2), 195–212.
- Rocha, A. (2005). Algunas reflexiones sobre la Química y su enseñanza en los niveles educativos pre - universitarios. In CIPTE-UNCPBA (Ed.), “*Las disciplinas, las áreas: problemática de su enseñanza*”. Serie Cuadernos de Educación y Prácticas Sociales.
- Sanmartí, N. (2000). El diseño de unidades didácticas. In F. J. Perales Palacio & P. Cañal de León (Eds.), *Didáctica de las ciencias experimentales* (Editorial, pp. 239–265).
- Santos, V. C., & Arroio, A. (2016). The representational levels: Influences and contributions to research in chemical education. *Journal of Turkish Science Education*, 13(1), 3–18. <https://doi.org/10.12973/tused.10153a>
- Savec, V. F., Sajovic, I., & Wissiak Grm, K. S. (2009). Action Research to Promote the Formation of Linkages by Chemistry Students Between the Macro, Submicro, and Symbolic Representational Levels. In John K Gilbert & D. Treagust (Eds.), *Múltiples representaciones en educación química* (pp. 309–331). https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_14
- Sawrey, B. A. (1990). Concept learning versus problem solving: Revisited. *Journal of Chemical Education*, 67(3), 253. <https://doi.org/10.1021/ed067p253>
- Sierra Díez, B. (1995). Solución analógica de problemas en. In E. Trotta (Ed.), *Razonamiento y comprensión* (pp. 179–218). Madrid, España.
- Taber, K. S. (2009). Learning at the Symbolic Level. In J.K. Gilbert & D. Treagust (Eds.), *Multiple Representations in Chemical Education* (pp. 75–105). https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_5
- Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: Drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(2), 156–168. <https://doi.org/10.1039/c3rp00012e>
- Taber, K. S., & Watts, M. (1996). The secret life of the chemical bond: Students’ anthropomorphic and animistic references to bonding. *International Journal of Science Education*, 18(5), 557–568. <https://doi.org/10.1080/0950069960180505>
- Talanquer, V. (2010). Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry “triplet.” *International Journal of Science Education*, 33(2), 179–195. <https://doi.org/10.1080/09500690903386435>
- Tamayo Alzate, O., Vasco Uribe, C., Suarez de la Torre, M., Quiceno Valencia, C., García Castro, L., & Giraldo Osorio, A. (2011). *La clase multimodal y la formación y evolución de conceptos científicos a través del uso de tecnologías de la información y la comunicación*. Manizales, Colombia: Universidad Autónoma de Manizales.

- Tamayo, O., Cadavid, V., & Dávila, V. (2018). *Multimodalidad: múltiples lenguajes empleados en la enseñanza de las ciencias*. Manizales, Colombia: Universidad de Caldas.
- Tan, K. C. D., Goh, N. K., Chia, L. S., & Treagust, D. F. (2009). *Linking the Macroscopic, Sub-microscopic and Symbolic Levels: The Case of Inorganic Qualitative Analysis*. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_7
- Treagust, D., & Chittleborough, G. (2001). Chemistry: a Matter of Understanding Representations. In J. Brophy (Ed.), *Subject-specific instructional methods and activities* (Vol. 8, pp. 239–267). [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1479-3687\(01\)80029-8](https://doi.org/10.1016/S1479-3687(01)80029-8)
- Treagust, D., Chittleborough, G., & Mamiala, T. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353–1368. <https://doi.org/10.1080/0950069032000070306>
- Treagust, D., Nieswandt, M., & Duit, R. (2000). Sources of students difficulties in learning Chemistry. *Educación Química*, 11(2), 228. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2000.2.66458>
- Tsaparlis, G. (2009). Learning at the Macro Level: The Role of Practical Work. In *Multiple Representations in Chemical Education* (pp. 109–136). https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_6
- Vallejo, W. (2017). *Relaciones explicativas entre los niveles de representación macroscópico, microscópico y simbólico de la materia; una propuesta didáctica para la enseñanza del concepto de “reacción química”*. Universidad Nacional de Colombia.
- Zamorano, R. O., Gibbs, H. M., Moro, L. E., & Viau, J. E. (2006). Evaluación de un modelo didáctico analógico para el aprendizaje de energía interna y temperatura. *Rev. Eureka. Enseñ. Divul. Cien*, 3(3), 392–408.

ANEXOS

Anexo A. Instrumento De Indagación Inicial Y Final

Nombre del estudiante: _____

Nombre de la I.E: _____

Fecha: _____ **Grado:** _____

En este test encontrarás preguntas relacionadas al enlace químico, para resolverlo debes usar tu conocimiento e imaginación; es decir, no debes acudir a otras personas o fuentes bibliográficas que incluyan: libros, revistas, páginas de internet o cualquier publicación de carácter académico o científico acerca de la química. Se le recomienda especialmente leer detenidamente y contestar con sinceridad, tenga en cuenta que esta actividad no será calificada como una evaluación de respuestas correctas e incorrectas; su propósito es descubrir que tanto conoce usted realmente de la temática aquí tratada.

EL ENLACE QUÍMICO

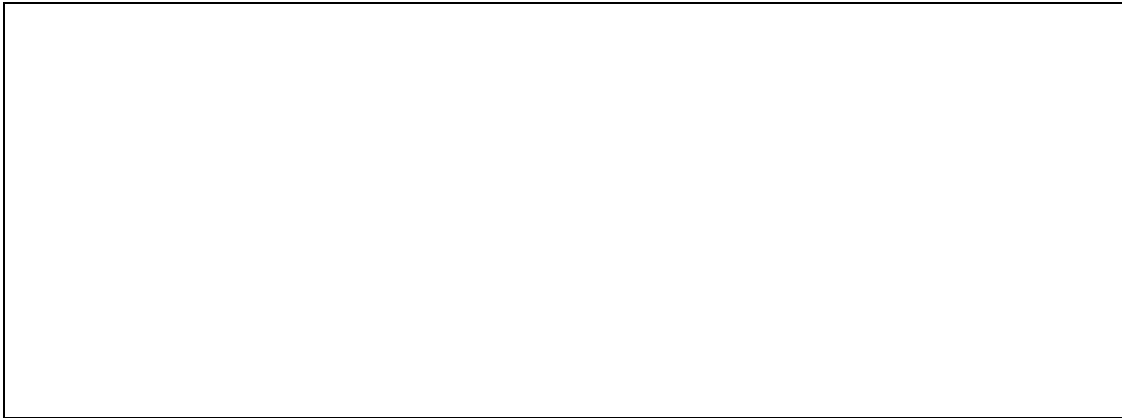
1. Si miras a tu alrededor encontraras muchas manifestaciones de la materia, describe cómo es el agua líquida:

a) Por lo que logras percibir con tus órganos de los sentidos:

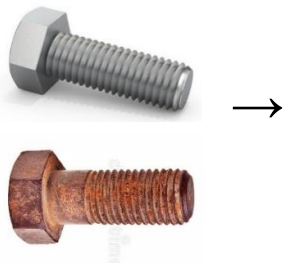
b) Podrías representar a través de un dibujo la estructura del agua


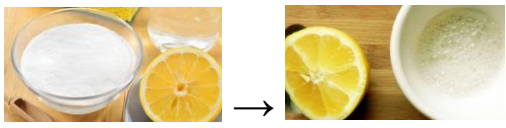
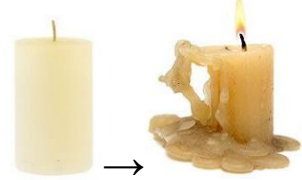
2. En la naturaleza encuentras un sinnúmero de sustancias materiales que están constituidas por átomos, que hacen parte de los seres vivos y del universo. En la vida cotidiana el uso del fuego es muy importante, por ejemplo, para cocinar, para encender una vela, encender un cigarrillo, entre otros. El fosforo o cerrilla es un utensilio

indispensable para producir fuego, este lo puedes conseguir fácilmente en una tienda, él está constituido por una mezcla de sustancias sólidas que forman la cabeza y un palillo que sostiene la cabeza. Ya sabes, para obtener el fuego debes raspar el fosforo sobre una superficie áspera, ¿podrías hacer una representación a través de un dibujo de lo que sucede internamente con el fosforo al encenderse?, con tus palabras añade la explicación a lo que dibujaste.



3. En la tabla están descritos unos fenómenos que has tenido la oportunidad de presenciar en tu vida cotidiana. A través de dos fotografías relacionadas al mismo fenómeno representado, analízala y responde la pregunta propuesta.

Imagina que puedes ampliar los fenómenos que observas en las imágenes miles de millones de veces hasta observar el comportamiento de sus átomos. Representa lo que has imaginado con un dibujo y explícalo con tus palabras.	
Fenómeno observado	Dibujo
 <p><i>Oxidacion de un metal</i></p>	
Explicación:	

Fenómeno observado	Dibujo
 <p data-bbox="284 430 576 462"><i>Evaporación del agua</i></p>	
<p data-bbox="284 472 462 504">Explicación:</p>	
Fenómeno observado	Dibujo
 <p data-bbox="284 829 803 861"><i>Bicarbonato de sodio en zumo de limón</i></p>	
<p data-bbox="284 871 462 903">Explicación:</p>	
Fenómeno observado	Dibujo
 <p data-bbox="284 1218 479 1249"><i>Vela derretida</i></p>	
<p data-bbox="284 1260 462 1291">Explicación:</p>	

4. El aluminio es usado para la fabricación de envases, como vez en la imagen.



a) ¿cómo consideras tú que están organizados los átomos que constituyen el envase?

b) Representélos a través de un gráfico o esquema.

5. Observa el siguiente esquema y responde que representa cada figura:

FIGURA 1



FIGURA 2

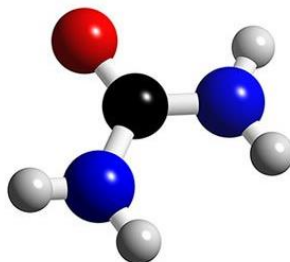
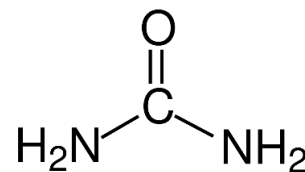


FIGURA 3



a) Que figura representa la organización de los átomos de la urea

b) Que figura representa la formula molecular de la urea

c) Que figura representa lo que usted puede percibir por su experiencia sensorial

6. Un estudiante de grado décimo está consultando en un libro acerca de cómo es la digestión de los alimentos en humanos, encuentra que en el estómago de las personas se produce una sustancia ácida llamada ácido clorhídrico que convierte los alimentos en partículas más pequeñas para ser absorbidas por el cuerpo. A continuación, el estudiante siente mayor curiosidad y consulta un libro de química donde encuentra la siguiente representación de los átomos que forman ese compuesto.



A partir de la anterior representación, contesta las preguntas relacionadas con la representación encontrada por el estudiante en el libro de química.

- a) ¿Qué representan las letras que están antes de la flecha? _____
- b) Nombre dichas letras: H _____ y Cl _____
- c) ¿Qué representan los círculos o puntos amarillos?

- d) ¿Qué significa la intercepción de los dos círculos?

- e) ¿Qué nombre recibe ese tipo de representación por puntos

7. Al colocar sal de cocina (NaCl) en contacto con el agua, existe paso de corriente eléctrica hacia el bombillo (Ver figura), pero si utilizamos azúcar, no hay paso de corriente eléctrica hacia el bombillo, Completa la información requerida en la siguiente tabla:

		
Agua pura	Solución de azúcar	Solución de sal

Sustancia	¿Conduce la corriente eléctrica?	Explique, ¿Por qué conduce o no conduce la corriente eléctrica?
Solución de sal		
Solución de azúcar		

Anexo B. Unidad Didáctica

Una unidad didáctica para propiciar el desarrollo de los niveles de representaciones en química en torno al concepto de enlace químico.

“El enlace químico visto desde los niveles de representación”

INTRODUCCIÓN

La asimilación de conceptos abstractos de la química por los estudiantes lleva, a los profesores a buscar alternativas para articular los conceptos que explican los diferentes fenómenos que ocurren en esta área del conocimiento científico. La comprensión de fenómenos químicos está determinada por tres niveles de representación: macroscópico, submicroscópico y simbólico tal como lo describen (Gilbert & Treagust, 2009; Johnstone, 1982, 2009). Además, la enseñanza a través de analogías, desempeñan un papel central en la explicación de modelos difíciles, puesto que, las analogías son un recurso metodológico clave del proceso de enseñanza y aprendizaje, el cual se convierte en una herramienta del lenguaje que permite a los estudiantes acercarse al conocimiento científico.

Por lo anterior planteado, se estructuró una unidad didáctica que promueva el dominio conceptual del enlace químico en los estudiantes en las maneras de representarlo en los tres niveles descritos por Johnstone a través de un modelo didáctico analógico, ya que en este concepto es concebido como uno de los más importantes en la química y que prácticamente diariamente en múltiples reacciones químicas que ocurren a diario en nuestro entorno formando una variedad de compuestos que presentan uniones entre átomos que son de interés en conocer y aprender para la comprensión de los diferentes propiedades que presentan estos tipos de sustancias químicas.

Así que esta unidad didáctica se propuso unas actividades que permitan la asimilación de los tres niveles de representación de la química a través de la aplicación de analogías que favorezcan la apropiación del aprendizaje entorno al tópico conceptual del enlace químico.

Con el desarrollo de esta unidad didáctica que se pretende alcanzar los siguientes objetivos:

- Identificar las concepciones alternativas de los estudiantes bajo el concepto del enlace químico.
- Promover actividades que faciliten la comprensión conceptual del enlace químico en los estudiantes a través de la modelización analógica.

- Reconocer la evolución conceptual en los niveles de representación de los estudiantes a través de las actividades propuestas en la unidad didáctica.
- Identificar por medio de la aplicación de la unidad didáctica los niveles de representación que tienen los estudiantes en torno al concepto del enlace químico

JUSTIFICACIÓN

Se diseñó la Unidad didáctica para guiar el desarrollo de las actividades planeadas y organizadas, con la intencionalidad de facilitar en los estudiantes la comprensión de los niveles de representación de la química, orientadas a la comprensión del concepto, cada día la enseñanza de las ciencias toma una nueva forma para la planeación de las clases a través de unidades didácticas por parte del profesor. Por ejemplo, (Campanario, Juan Miguel; Moya, 1999) exponen que la preparación de una clase conlleva la elección de los contenidos, la organización y secuenciación de los mismos, el diseño de actividades de clase y de posibles tareas extraescolares, la anticipación de las dificultades que pueden encontrar los alumnos, etc. Todos estos componentes se traducen, en definitiva, en una secuencia determinada de acciones. En este sentido, hemos abordado la enseñanza del concepto de enlace químico desde una perspectiva constructivista.

Se pretende que el desarrollo de esta unidad didáctica permita a los estudiantes de grado 10 de educación media (entre 14 y 17 años) propiciar y construir múltiples representaciones desde el nivel macroscópico, submicroscópico y simbólico sobre el concepto de enlace químico, a través de diversas actividades con analogías teniendo en cuenta el modelo didáctico analógico propuesto por Adúriz-Bravo, Garófalo, Greco, & Galagovsky (2005). Las representaciones expuestas por los estudiantes serán el insumo para determinar cómo ellas contribuyen al cambio del concepto "Enlace Químico".

Concepciones alternativas encontradas en los estudiantes

Durante el análisis del instrumento inicial aplicado a los estudiantes de las instituciones educativas Candelaria Hacienda y San Anterito, se pudieron identificar los siguientes obstáculos para la presentación del concepto de enlace químico:

1. Los estudiantes si bien presentan un dominio notable en la descripción de las principales características macroscópicas en el instrumento de indagación, suelen atribuir muchas de esas características a la estructura e interacciones de la materia en el nivel submicroscópico.

2. Durante la explicación de los procesos en donde se presentan interacciones entre partículas, relación de fenómenos electrostáticos o vibración de las moléculas; los estudiantes presentan un bajo dominio del lenguaje de la química al sustentar sus argumentos, incluso algunos fenómenos son asociados a hechos que no están relacionados con esta ciencia, este aspecto es acentuado además por el uso de animismos y humanización del lenguaje como, por ejemplo: “las partículas se sofocan” o “sienten”.
3. En el nivel simbólico de representación se identifican algunos símbolos, pero se muestra un desconocimiento de su utilidad y significado en cuanto a la relación que poseen con otros niveles de representación.

UNIDAD DIDÁCTICA: ENLACE QUÍMICO

ACTIVIDAD 1: Representación de las uniones entre los átomos

Objetivo de la actividad: Identificar algunas representaciones submicroscópicas de las moléculas y los enlaces químicos.

Duración de la actividad: 3 horas de clases

1. Momento de presentación y conceptualización de la analogía

Descripción: Lee el párrafo propuesto que se titula imanes de neodimio, luego observa la tabla con imágenes que está debajo de la lectura y a partir de allí contesta las preguntas propuestas.

Imanes de Neodimio

Los imanes de neodimio son un tipo de imanes permanentes también conocidos como imanes de tierras raras, debido al hecho de que contienen uno o más de los elementos de tierras raras de la tabla periódica. La mayoría están hechos de una aleación de metal (unión física entre dos metales o un metal y un no metal) que contiene neodimio, hierro y boro. Son mucho más fuertes que la mayoría de los imanes que la gente está acostumbrada a usar, como los imanes de nevera. Debido a las fuerzas que generan, pueden ser peligrosos o incluso causar lesiones fatales si no se manejan adecuadamente.



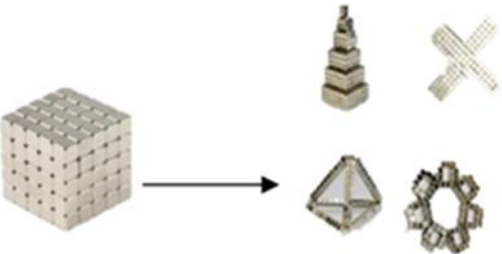
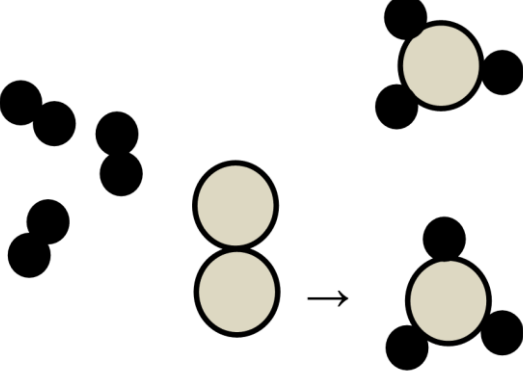
Imanes de Neodimio

Estos imanes son usados principalmente en el ámbito industrial, pero hay algunos disponibles que se usan para armar diversas figuras a partir de la unión de varias piezas del imán.

Actividad Propuesta

Instrucciones: En la tabla que verás a continuación encontrarás dos figuras: la figura 1 contiene un cubo formado por varias piezas que son imanes de neodimio y a su lado derecho se muestran otras reorganizaciones de piezas de imanes tomando la forma de una torre, una pirámide, una flor y una cruz; a la derecha se observan círculos de dos colores y tamaños diferentes.

El propósito de esta actividad es comparar las dos imágenes teniendo en cuenta las uniones que observas, la información que brindan los títulos de cada figura y los cambios en la forma de los objetos, luego a partir de esa comparación responderás las preguntas que se encuentran debajo de las figuras.

Figura 1: Armado de figuras a partir de un cubo con imanes de neodimio	Figura 2: Modelo molecular de una reacción química.
	

2. Momento de correlación conceptual

1. ¿Qué similitudes encuentras entre la Figura 1 y la Figura 2?

2. ¿Qué representan los círculos grandes y pequeños en la imagen 2?

3. ¿Por qué los círculos grandes y pequeños tienen diferente color en la figura 2?

3. Reestructuración Conceptual

Conteste nuevamente las preguntas en el momento de estructuración conceptual, después de haber abordado los conceptos trabajados y aprendidos.

4. Momento metacognitivo

Instrucciones: Después de haber leído y reflexionado sobre la información presentada anteriormente, revisarás tus respuestas en las preguntas iniciales de la actividad haciendo una reflexión sobre aquellos aspectos que han cambiado acerca de las mismas y luego responderás las preguntas formuladas en la siguiente tabla:

¿De qué nuevos aspectos te diste cuenta al realizar la lectura y no habías incluido en tus respuestas iniciales?	¿Qué diferencias encuentras entre la respuesta inicial a las preguntas y las respuestas que ahora has armado?
La pregunta 1:	La pregunta 1:
La pregunta 2:	La pregunta 2:
La pregunta 3:	La pregunta 3:

ACTIVIDAD 2: Reconocer las fuerzas que actúan en los enlaces químicos

Objetivo de la actividad: Reconocer las interacciones submicroscópicas que se relacionan con la clasificación de los enlaces químicos.

Duración de la actividad: 3 horas de clases

1. Momento de presentación y conceptualización de la analogía

Descripción: Observa las imágenes propuestas y contesta las preguntas que están en la tabla:

Figura 5



Imagen tomada de: <https://slideplayer.com/slide/7774263/>

En la imagen de arriba se observan a dos personas halando una cuerda, cuyo objetivo es alcanzar con sus manos el nudo. Analiza la imagen y luego compárala con lo que está ocurriendo en la imagen dos, ten en cuenta el concepto de fuerza y de atracción para encontrar parecidos y diferencias.



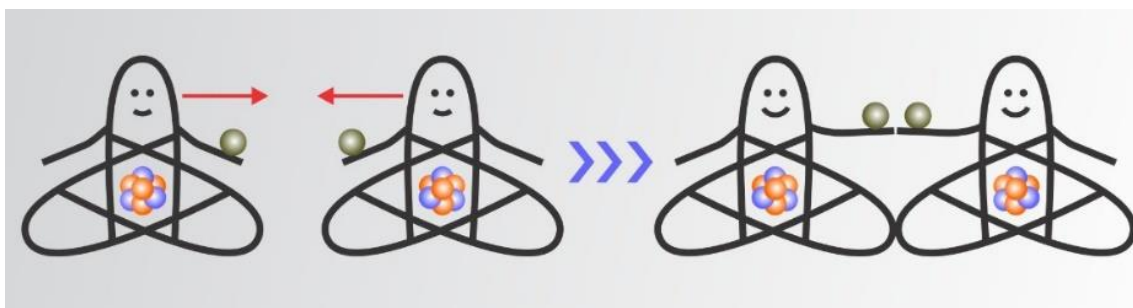
Adaptado de: videos del curso de química study.com, *Chapter 5: Chemical Bonding*, <https://study.com/>

Figura 6



Imagen tomada de: https://es.123rf.com/imagenes-de-archivo/tirar_cuerda.html?sti=n09tzzx6ujjl7hdn6o|&mediapopup=52312724

En la imagen de arriba se observan a un grupo de personas halando una cuerda, cuyo objetivo es alcanzar con sus manos el nudo. Analiza la imagen y luego compárala con lo que está ocurriendo en la imagen dos, ten en cuenta el concepto de fuerza y de atracción para encontrar parecidos y diferencias.



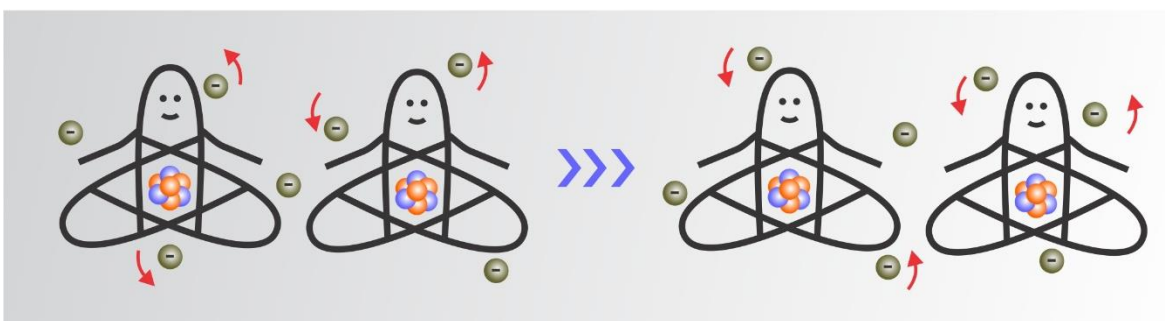
Adaptado de: videos del curso de química study.com, *Chapter 5: Chemical Bonding*, <https://study.com/>

Figura 7



Imagen tomada de: <https://www.shutterstock.com/th/video/clip-32358538-waffles-honey-berries-close-up-healthy-breakfast-pouring>

En la imagen de arriba se observan unas waffles que es un tipo de galleta que se acompaña con miel, además, estas se colocan una encima de la otra donde la miel hace que se peguen deslizándose una sobre la otra. Analiza la imagen y luego compárala con lo que está ocurriendo en la imagen dos, ten en cuenta el concepto de fuerza y de atracción para encontrar parecidos y diferencias entre las uniones que observa.



Adaptado de: videos del curso de química study.com, *Chapter 5: Chemical Bonding*, <https://study.com/>

2. Momento de correlación conceptual

Instrucciones:

A continuación, encontrarás una tabla que deberás llenar respondiendo las preguntas que se encuentran en la primera columna, para ello debes leer con atención y observar con detalles las tres figuras anteriores (figura 5, figura 6, figura 7).

Figuras Preguntas	Figura 5	Figura 6	Figura 7
En cada celda o espacio de al lado, describe lo que ocurre en la parte superior de cada figura. Para el caso de la figura 5 y 6 indica además cómo crees terminará el juego de la cuerda.			
En cada figura se encuentran dos imágenes una arriba del texto explicativo y otra debajo del mismo, de acuerdo con las imágenes de cada figura y la explicación en medio de ambas ¿Qué similitudes encuentras entre la unión que se muestra en la parte superior e inferior de cada figura?			

<p>Teniendo en cuenta los fenómenos de las fuerzas y las uniones planteados en cada una de las figuras, para ti ¿Qué representa la imagen debajo del texto de cada figura?</p>			
--	--	--	--

Reestructuración Conceptual

Conteste nuevamente las siguientes preguntas de la tabla en el momento de estructuración conceptual, después de haber abordado los conceptos trabajados y aprendidos.

Momento metacognitivo

Después de haber leído la información presentada en el texto anterior, contesta:

1. ¿Qué representan las figuras 5, 6 y 7 desde la perspectiva conceptual del enlace químico?

2. Describe las interacciones que ocurren en los diferentes enlaces químicos

3. ¿Qué conceptos nuevos has logrado identificar en la actividad 2 que antes no conocías?

ACTIVIDAD 3 – Los enlaces químicos y su relación con las propiedades de las sustancias

Objetivo de la actividad: relacionar la naturaleza del enlace químico de las sustancias con algunas propiedades de la materia.

Duración de la actividad: 3 horas de clases

1. Momento de presentación y conceptualización de la analogía

A continuación, te presentamos esta lectura como referente comparativo para que puedas indagar las diferentes propiedades de algunas sustancias relacionadas en la tabla de abajo

Algunos materiales que se encuentran comúnmente presentan características y comportamientos diferentes, que los hace únicos y cumplen una función específica que dependen de la naturaleza química de la que están constituidos. Por ejemplo, existen materiales que pueden conducir la corriente eléctrica como los alambres de acero que se usan en las redes de electrificación. También existen sustancias cuyos componentes se pueden disolver en agua, como por ejemplo el café instantáneo, refrescos en polvo, achiote en polvo, el gas carbónico que presente en las bebidas gaseosas, entre otros. Aunque hay otros que no pueden disolverse en agua, como el polvo para pies (talco), el grafito (mina del lápiz pulverizada), el aceite de cocina, entre otros. En cuanto al comportamiento de las sustancias al calentarse, hay variaciones importantes entre unas y otras, por ejemplo, hay sustancias que se derriten rápidamente como la parafina de la vela, mientras que otras necesitan altas temperaturas y bastante tiempo exposición al calor para fundirse, como el hierro y otros metales.

2. Momento de correlación conceptual

En la siguiente tabla se dan unas sustancias, en ella tendrás que indicar que sucede con la sustancia cuando se calienta, se disuelve en agua, si conduce o no conduce la corriente eléctrica.

Tabla 1. Propiedades de algunas sustancias conocidas.

Sustancia	Al calentarse, se derrite, no se derrite o se descompone	¿Se disuelve en agua?	¿Conduce la corriente eléctrica en su estado natural?	¿Conduce la corriente eléctrica disuelta en agua?
Sal de cocina				
Azúcar o Sacarosa				
Clavo de hierro				
Bicarbonato de sodio				
Urea				
Alambre de cobre				

Terminado este paso, contesta las siguientes preguntas:

- 1. Teniendo en cuentas tus respuestas en la tabla 1, responde las preguntas de la siguiente tabla:**

Tabla 2. Clasificación de las sustancias y su relación con sus enlaces químicos

¿Sustancias que presentaron comportamientos parecidos?	De esas sustancias que agrupaste, ¿qué tipo de fuerza se da entre sus átomos? Débil o fuerte	¿Qué tipo de enlace químico presentan?

- 2. Teniendo en cuenta los resultados de la tabla del punto 1, completa:**

- a) ¿La estructura que forman los átomos de la sal, del azúcar y del clavo del hierro, son la misma? Justifica tu respuesta.**

b) ¿Qué características presentan los compuestos iónicos, covalentes y metálicos?

Material de apoyo

- Copias del libro Ciencias Naturales Química 1° Medio; Tema 1: Propiedades de los compuestos**, páginas 26-29
- Video de Apoyo** Propiedades de los compuestos iónicos y compuestos covalentes - <https://www.youtube.com/watch?v=-KKmVAMUgcA>. **Canal YouTube: Héroe Químico Vlog**

3. Reestructuración Conceptual

Conteste nuevamente las siguientes preguntas de la tabla y preguntas en el momento de estructuración conceptual, después de haber abordado los conceptos trabajados y aprendidos.

4. Momento metacognitivo

1. Realiza un mapa mental o conceptual donde relaciones la estructura de las sustancias y el enlace químico de estas con las propiedades anteriormente trabajadas en la tabla.
-

2. Luego de haber leído y socializado los conceptos presentados en esta actividad que crees que podrías modificar en las tablas 1 y 2. Justifica tu respuesta.
-

ACTIVIDAD 4: representación de enlaces químicos

Objetivo: reconocer las formas de representación simbólica presentes en los enlaces químicos.

Duración de la actividad: 3 horas de clases.

1. Momento de presentación y conceptualización de la analogía

Los rompecabezas es juego que consiste en recomponer una figura o una imagen combinando de manera correcta unas piezas que pueden ser planas o tener otra forma, cada una tiene una parte de dicha figura o imagen a armar. A continuación, hay unas fichas las cuales permiten crear distintas combinaciones de acuerdo a la forma que tenga. Tal como lo vez en la siguiente figura de ejemplo, donde se compone por 5 fichas, 4 fichas A y 1 ficha H, la cual forma la figura que llamaremos A_4H .

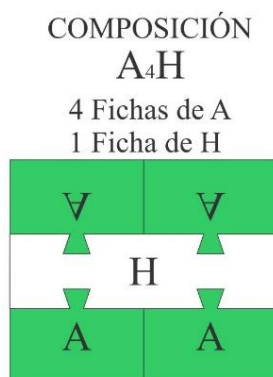


Imagen: Creación propia©.

Ahora tendrás que jugar con las siguientes piezas (**figura 8**) y encontrar las posibles combinaciones que se pueden generar haciendo uso de las fichas A; B; C; D; E; F; G y escribir el nombre de la composición que se generó.

Figura 8: Fichas A; B; C; D; E; F; G del rompecabezas

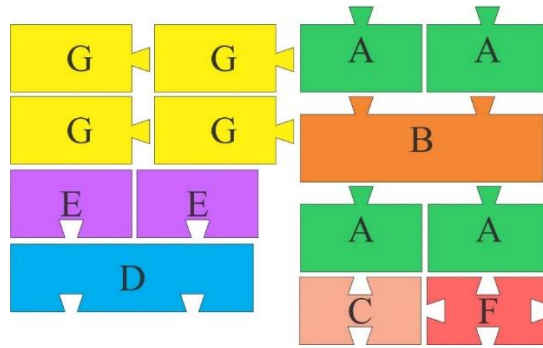


Imagen: Creación propia©.

Para ello, ten en cuenta:

- a) *La forma de las fichas, observa que hay fichas que tienen pestaña que encaja perfectamente en la otra.*
- b) *Al generar la composición final con las fichas que usaste, cuenta el número de ficha(s) de uno y de la (s) otra (s) y escribe en nombre de la composición usando la letra y el número que indica la cantidad (ver ejemplo).*

# Partida	Fichas usadas y respectiva cantidad	Total de fichas usadas	Composición

2. Momento de correlación conceptual

Ahora te invito a que juegues con las fichas anteriormente dadas (**fichas de la figura 8**) y anotes el resultado de la combinación de cada una de las partidas que jugaste en la siguiente tabla.

Después de haber realizado la anterior actividad, estarás preparado para el verdadero reto. Ahora las fichas tendrán un significado más complejo las cuales están representadas por el símbolo químico de un elemento, la carga de este cuando esta ionizado o por puntos que representan los electrones de valencia, además de esto, al unir las fichas se formarán compuestos con determinada formula química y que forman una figura con geometría propia al combinarse los átomos. Valiéndote de la analogía del rompecabezas donde usaste las fichas marcadas con las letras *A; B; C; D; E; F; G* para hacer combinaciones con ella, ahora repite este proceso, pero con las fichas de la figura 9, pero, ten en cuenta que las fichas van a representar átomos que se unen a través de enlaces químicos por medio de sus electrones de valencia, indica en la siguiente tabla las diferentes composiciones que se pueden originar a partir de los siguientes átomos:

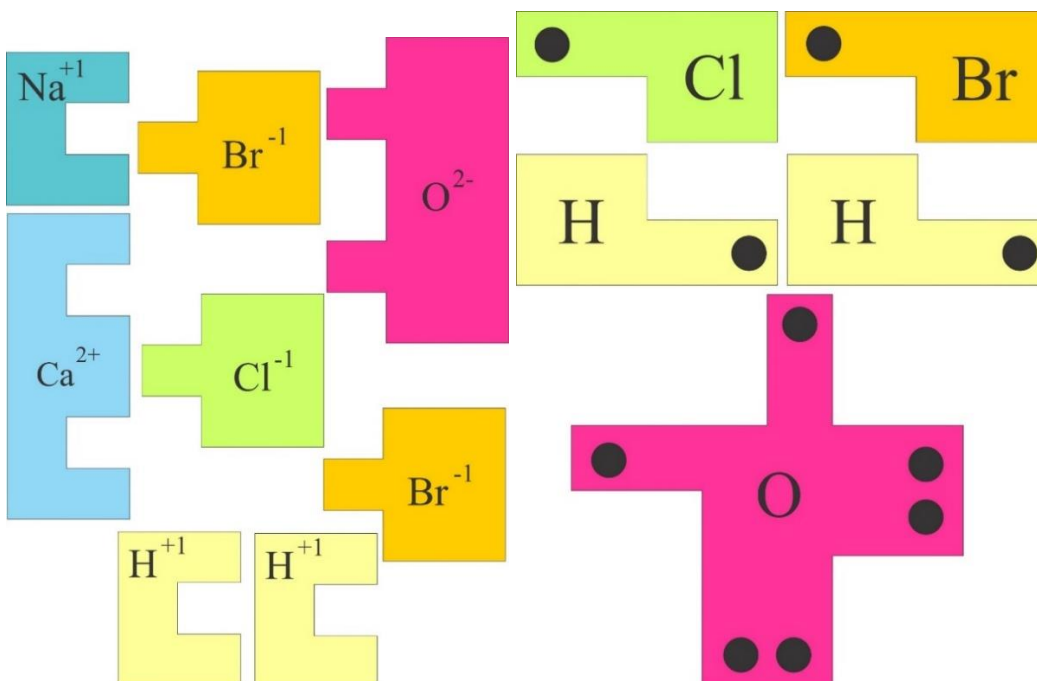
Átomos	Formula molecular
H y O	
Na y Cl	
O y O	
Ca y Br	

Para resolver tu objetivo, bázate de la siguiente información y las siguientes fichas que te permitirán formar el compuesto final, la información de la tabla te permitirá inferir sobre el tipo de enlace químico y por tanto te ayudará a elegir correctamente las fichas correspondientes para formar su estructura y dar con la formula del compuesto:

Átomo	Terminación de la Configuración electrónica	Valencia	Electronegatividad
H	1s ¹	1	2,20
O	2s ² 2p ⁴	6	3,44
Na	3s ¹	1	0,93
Ca	4s ²	2	1,00
Cl	3s ² 3p ⁵	7	3,16
Br	3s ² 3p ⁵	7	2,96

Cuando realices las combinaciones, escribe al lado la configuración que adquieren o toman los átomos cuando estos se unen, su fórmula química, y la representación de Lewis en cada uno de los casos.

Figura 9: fichas para formar la fórmula de Lewis y la formula estructural de compuestos iónicos y covalentes



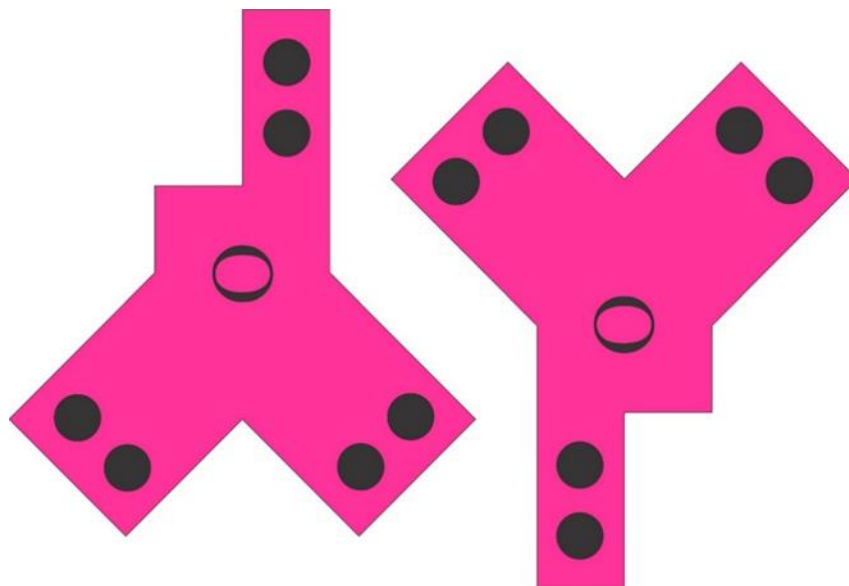


Imagen: Creación propia©.

Terminada la actividad te invito a que hagas lectura como complemento teórico para que puedas comprender mejor la actividad realizada y tengas ahora una conceptualización más clara de lo que has aprendido hasta este momento.

Video de Apoyo <https://www.youtube.com/watch?v=ymAh22Sni8c>. **Canal YouTube:** EMMANUEL ASESORÍAS

3. Momento metacognitivo

- a) Al resolver la actividad del juego, encontraste algún parecido en la forma como resolviste la actividad que consistía en la ficha para armar compuestos. Describe tanto las similitudes como diferencias entre ambos procedimientos.

- b) Que simbolismos identificaste al momento de realizar la actividad que consistía en la ficha para armar compuestos y que relación tienen estos en la representación de enlaces químicos.

Fichas utilizadas para trabajar la analogía.

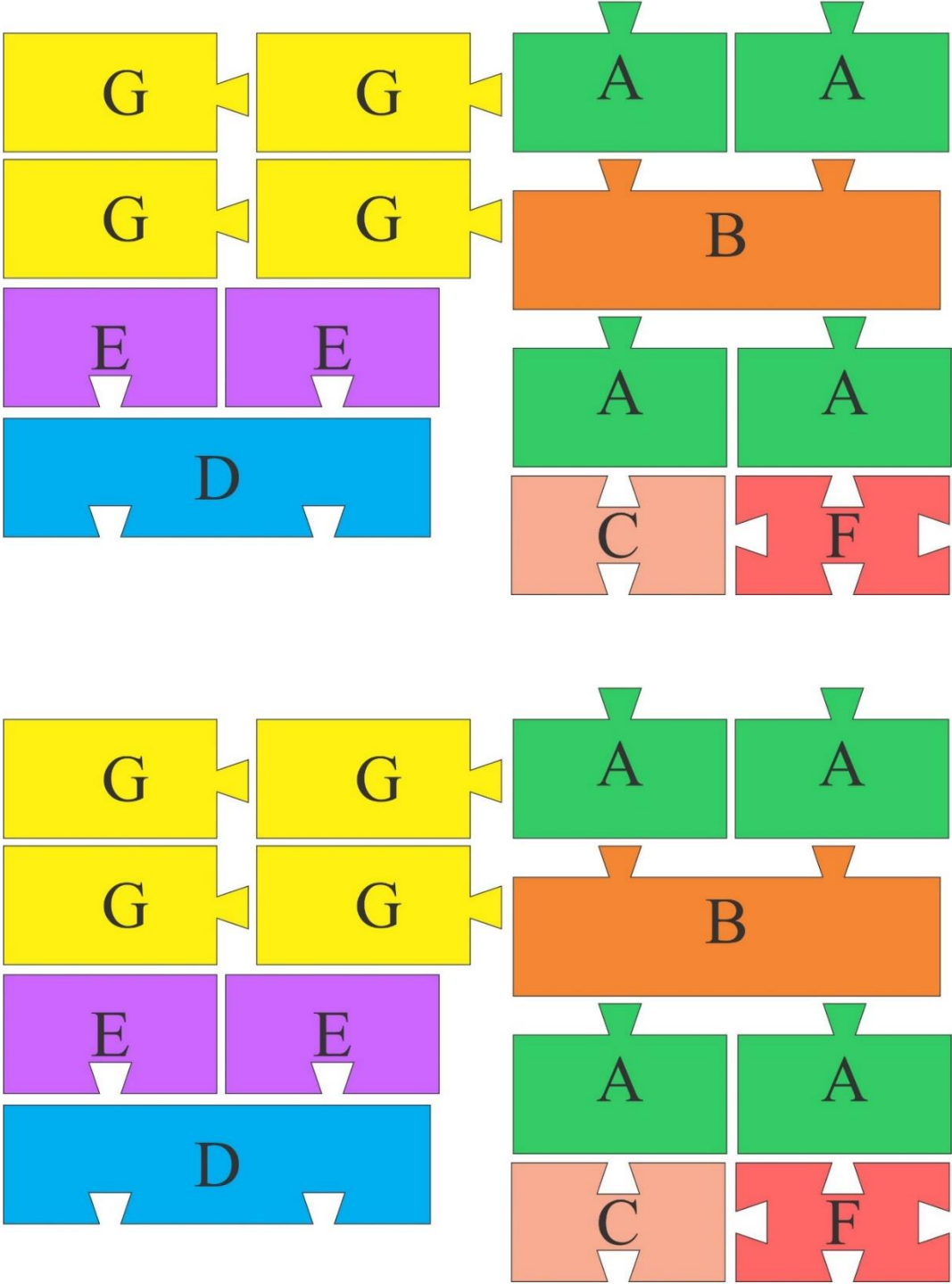


Imagen: Creación propia©.

Referencias bibliográficas

Adúriz-Bravo, A., Garófalo, J., Greco, M., & Galagovsky, L. (2005). Modelo Didáctico Analógico: marco teórico y ejemplos. *Enseñanza de Las Ciencias*, Número Ext (VII Congreso), 1–6.

Campanario, Juan Miguel; Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *17(2)*, 179–192.

Gilbert, J., & Treagust, D. (2009). Multiple Representations in Chemical Education. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Eds.), *Models and Modeling in Science Education* (1st ed., Vol. 4). <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8>

Johnstone, A. (1982). Macro and micro chemistry. *School and Science Review*, *64*, 295–305.

Johnstone, A. (2009). Multiple Representations in Chemical Education. *In International Journal of Science Education* (Vol. 31). <https://doi.org/10.1080/09500690903211393>

Anexo C. Consentimiento Informado

Yo, _____ padre, madre o representante legal identificado con la cedula de ciudadanía No. _____, autorizo a mi hijo (a) _____ identificado con la tarjeta de identidad No. _____ a participar en el estudio que tiene por título “Cambios en los niveles de representación de los estudiantes a través de la modelización analógica en la enseñanza del enlace químico”, realizado por los docentes Juan David Méndez y Yuliana Ballesteros Correa, estudiantes de la maestría en enseñanza de las ciencias de la Universidad Autónoma de Manizales, UAM.

Esta investigación es de carácter académico y la información generada por su hijo (a) será utilizada para propósitos educativos y evidencia del trabajo realizado, además, la identidad del niño (a) será protegida. Por esto, este consentimiento informado da cuenta de la intención o propósito del proyecto de investigación, de los principios básicos éticos, tratamiento de datos personales y manejo de la información, y el respectivo permiso de participación en el proyecto de investigación, del cual será firmado por el padre de familia y alumno.

Para mayor constancia se firma el día _____ del mes _____ del 2020, en el municipio de Santa Cruz de Lorica, corregimiento de _____.

Firma del Padre, madre o representante legal.

Firma del estudiante.