

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
PROGRAMA MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LA QUÍMICA**

**“MODELO DIDÁCTICO ANALÓGICO DE ENLACE QUÍMICO:
CARACTERIZACIÓN DE LAS FORMAS DE SIGNIFICAR DE LOS
ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN MEDIA”**

**PROYECTO
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN DOCENCIA DE LA QUIMICA**

LAURA YISETH ALARCÓN RODRÍGUEZ

**DIRECTOR DE TESIS:
Profesor PhD. FREDY GARAY GARAY**

BOGOTÁ, FEBRERO DE 2017

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 2 de 3	
1. Información General		
Tipo de documento	Trabajo de grado	
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central	
Título del documento	Modelo Didáctico Analógico de Enlace Químico: Caracterización de las formas de significar de los estudiantes de educación media.	
Autor(es)	Alarcón Rodríguez, Laura Yiseth	
Director	Garay Garay, Fredy Ramón	
Publicación	Bogotá D.C. Universidad Pedagógica Nacional, 2017. 123 p.	
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional	
Palabras Claves	MODELO DIDACTICO ANALOGICO, ENLACE QUÍMICO, FORMAS DE SIGNIFICAR, FILOSOFIA DE LA QUIMICA.	
2. Descripción		
<p>El trabajo de grado busca 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, visando por el rescate de su estatuto epistemológico. Se evalúa las formas de significar del enlace químico en estudiantes de grado décimo, luego de la construcción de un Modelo Didáctico Analógico (Galagovsky & Aduriz-Bravo, 2001) para este concepto, considerado estructurante de la química. Se fundamenta en la reconstrucción histórica-epistemológica que resalta el lenguaje, simbología y perfil didáctico en que cada modelo, que sobre enlace químico fue planteado. Se hace énfasis en el aprendizaje como un fenómeno social, mediado por el lenguaje y producto de la interacción entre los sujetos (Vitgosky,1995). Que en conclusión evidencia una estrecha relación entre la filosofía de la química, la educación en química y la aproximación a un pensamiento modelístico.</p>		

3. Fuentes

- Bensaude Vicent, B., & Stengers, I. (1997). *Historia de la Química*. Madrid: Addison Wesley Iberoamericana S.A.
- Brock, W. H. (1998). *Historia de la química*. Madrid, España: Alianza Editorial S.A.
- Chamizo. (2010). Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias Naturales. *Universidad Autonoma de Mexico*, 13-18.
- Chamizo, J. (1992). Modelos del enlace químico. *Elementos, Universidad Autónoma de Puebla*, 28-32.
- Chamizo, J. A. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 7(1), 26 - 41.
- Galagovsky, L., & Aduriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de Modelo Didáctico Analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 231 - 242.
- Hacking, I. (1996). *Representar e Intervenir*. Barcelona, Buenos Aires, México: Paidós.
- Kuhn, T. (1962). *La estructura de las Revoluciones Científicas*. México, DF.: Fondo de Cultura Económica.
- Labarca, M. (2005). La filosofía de la química en la filosofía de la ciencia contemporánea. *Redes*, 11(021), 155 - 171.
- Vigotsky, L. (1995). *"Pensamiento y lenguaje" Traducción de Alex Kozulin*. Barcelona: Paidós.

4. Contenidos

Planteamiento de Problema: ¿Cómo la construcción de un Modelo Didáctico Analógico para el concepto "enlace químico", permite transformar las formas de significar de los estudiantes?

Objetivo General: Analizar las formas de significar y los sentidos construidos frente al enlace químico, luego de la construcción de un modelo didáctico analógico, en estudiantes de grado décimo.

Objetivos Específicos:

- Identificar las formas de significar y sentido iniciales que presentan estudiantes de grado decimo, frente al concepto de enlace químico.
- Diseñar un Modelo Didáctico Analógico como estrategia para la enseñanza del concepto de enlace químico.
- Reconocer la influencia de la utilización de un MDA, en la construcción de significados y sentidos de los estudiantes de grado decimo frente al concepto de enlace químico.

Marco Teórico

- La naturaleza del conocimiento químico y la filosofía de la química: El Realismo Científico y el instrumentalismo de Ian Hacking.
- La enseñanza fundamentada en modelos y el modelaje Científico: *Un Modelo Didáctico Analógico para la enseñanza de la Química*
- El Sociointeraccionismo de Lev Semionovich Vigotsky
- Construcción Histórica y Epistemológica del enlace químico: *Fuerzas de atracción y*

afinidad. ¿Cómo se construyeron los primeros modelos de Enlace? El compartimiento electrónico: Los modelos de Kossel, Lewis y Aportes de Linus Pauling

Análisis de Resultados.

Aplicación y análisis de las respuestas de 5 instrumentos escritos de preguntas desarrollados por los estudiantes. La categorización de las respuestas para el análisis de cada pregunta, se establece hacia una tendencia común, dada la estructura abierta de los cuestionarios.

5. Metodología

El paradigma metodológico sobre el cual se soporta esta investigación es de orden cualitativo, longitudinal en el tiempo, el cual se fundamenta en la construcción de significados desde la interacción entre sujetos (Moreira, 2002), en torno al concepto estructural del enlace químico.

Contexto

El estudio se lleva a cabo con 15 estudiantes de grado décimo de la institución educativa Julio César Sánchez, del municipio de Anapoima, en edades entre 15 y 17 años.

Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación sobre el cual se lleva a cabo este proyecto es el de investigación – acción; debido al proceso auto-reflexivo que realizan los estudiantes frente a la construcción de significados frente al concepto de enlace químico.

Las técnicas de recolección de información

Se utiliza para el desarrollo de esta investigación cinco instrumentos, denominados respectivamente: 1) Instrumento de revisión de ideas iniciales frente al enlace químico. 2) Introducción al proceso de Modelación (La caja negra) 3) Instrumento La modelación en la ciencia. 4) Instrumento Las propiedades de las sustancias iónicas y covalentes. 5) Instrumento Estructura conceptual del enlace Químico.

La investigación presenta 5 fases:

Fase 1: Indagación de las ideas iniciales de los estudiantes. Se elaboran una serie de actividades que permiten recopilar la información. (Instrumento 1).

Fase 2: Diseño y desarrollo de actividades para la enseñanza de la química con énfasis en modelos y modelaje científico sobre enlace químico. (Instrumento 2 y 3)

Fase 3: Desarrollo: Clases de Orientación. (Instrumento 4)

Fase 4: Análisis de las formas de significar frente al enlace químico después de la construcción de un MDA para el enlace químico. Aplicación de instrumento escrito.(Instrumento 5)

Fase 5: Divulgación.

6. Conclusiones

1. Se revisó las formas de significar que presenta el enlace químico, en estudiantes de grado decimo antes de realizar una construcción de un Modelo Didáctico Analógico (Galagovsky & Adúriz- Bravo, 2001) para el concepto, notándose que para justificar su existencia, acuden a designar a los enlaces como simples uniones entre los átomos para formar moléculas, sin tener en cuenta si eran de naturaleza iónica ó covalente. Estas concepciones son producto de explicaciones y construcciones teóricas incompletas, que

muchas veces tienen los textos escolares y sitios web que ellos consultan y es reforzado por el discurso que maneja los docentes que hicieron la introducción del tema en años anteriores.

2. Luego de una reconstrucción histórica frente al concepto, los aportes que hace la filosofía de la química para rescatar la autonomía y estatuto epistemológico de la química y centrados en el estudio del realismo de las entidades, fundamentados en las postulaciones de (Hacking, 1996), se determina que el enlace químico es una entidad teórica, posible de representación, pero que en la intervención en el mundo, lo que existe son sustancias con naturaleza iónica ó covalente, y por tanto, la intervención en el plano experimental, permite que existan distintos modelos de enlace que pueden explicar y representar la naturaleza de las interacciones entre dos centros atómicos o iónicos, así como sus propiedades.
3. El conocimiento del proceso de modelación por parte de los estudiantes, 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.
4. Los significados que se evidenciaron en los estudiantes durante la construcción del MDA, se vieron permeados, al tener una visualización más clara frente al proceso de modelación, en la ciencia y en la ciencia escolar y en la intervención en el plano experimental para conocer la naturaleza de las sustancias. Esto permitió que al tratar de dar explicaciones frente al enlace químico, concibieran la importancia de considerar que cada sustancia presenta propiedades únicas, y que su clasificación esta no solamente ligada a una diferencia de electronegatividad, ó la representación icónica de un modelo material, sino a su comportamiento en el plano molar.

Elaborado por:	Laura Yiseth Alarcón Rodríguez
Revisado por:	Fredy Ramón Garay Garay

Fecha de elaboración del Resumen:	14	02	2017
--	----	----	------

AGRADECIMIENTOS

Quiero iniciar estos agradecimientos y ofrecer mi trabajo primero que todo a Dios, porque con Él se logra lo imposible, todo el esfuerzo, la dedicación y la fortaleza para conseguir las metas planteadas se cumplieron porque nunca perdí la fé.

Agradecer de manera especial y sincera a mi asesor *Fredy Garay Garay* por apoyarme y aceptarme en el grupo de investigación y poder realizar mi trabajo de grado bajo su dirección. Su apoyo, confianza y su capacidad para guiar mis ideas fueron un aporte invaluable.

Al profesor *Royman Pérez*, el cual con su sapiencia, me dio una luz que me permitió darle un enfoque a mi trabajo de investigación. Siempre lo voy a llevar en mi corazón.

A mis queridos estudiantes de grado décimo del Julio Cesar Sánchez, la razón de ser de esta investigación. Muchachos muchas gracias, de todo corazón, no tengo palabras para definir su apoyo y entusiasmo para cumplir con los objetivos planteados.

Y por último, pero los más importantes, *mi familia*, mi apoyo, mi fortaleza, mi voz de aliento cuando creía que iba a ser imposible. Sin ustedes, no habría podido cumplir con esta meta. Cada día le doy gracias al Todopoderoso por darme la oportunidad de tenerlos conmigo. Mamita, Zonia y Fernando, los amo con todo mi ser.

A Jerónimo, mi razón de vivir.
La fuerza que me impulsa día a día.
El ser que inunda de amor mi corazón. Te amo hijo.

"Para todos los efectos, declaro que el presente trabajo es original y de mi total autoría; en aquellos casos en los cuales he requerido del trabajo de otros autores o investigadores, he dado los respectivos créditos".

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	11
JUSTIFICACIÓN.....	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
2. OBJETIVOS	
2.1. General.....	13
2.2. Específicos.....	13
3. MARCO TEÓRICO	
3.1. La naturaleza del conocimiento químico y la filosofía de la química.....	14
3.1.1. El Realismo Científico.....	17
3.1.2. ¿Las entidades existen?.....	17
3.2. La enseñanza fundamentada en modelos y el modelaje Científico.....	19
3.2.1. Tipología de los modelos.....	20
3.2.2. <i>La enseñanza y el aprendizaje de la química utilizando el proceso de modelaje.....</i>	24
3.2.3. <i>Un Modelo Didáctico Analógico para la enseñanza de la Química.....</i>	24
3.3. Sociointeraccionismo de Lev Semionovich Vigosky.....	25
3.4. Construcción Histórica y Epistemológica del enlace químico.....	27
3.4.1. <i>Primera Revolución Química: Fuerzas de atracción y afinidad..</i>	27
3.4.2. <i>¿Cómo se construyeron los primeros modelos de Enlace?.....</i>	34
3.4.3. <i>El compartimiento electrónico: Los modelos de Kossel y Lewis.....</i>	35
3.4.4. <i>Aportes de Linus Pauling.....</i>	35
4. METODOLOGÍA.....	46
4.1. Contexto.....	46
4.2. Diseño.....	46
5. Técnicas de recopilación de datos.....	47
6. RESULTADOS	
6.1. <i>Instrumento de Revisión de Ideas Iniciales frente al Enlace Químico.....</i>	53
6.2. Instrumento Introducción al proceso de Modelación (La caja negra).....	55
6.3. <i>Instrumento La modelación en la ciencia y</i>	

	<i>la ciencia escolar</i>	58
6.4.	<i>Instrumento Las propiedades de las sustancias iónicas y covalentes</i>	60
6.5.	<i>Instrumento Estructura conceptual del Enlace Químico</i>	63
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	
7.1.	<i>Del Instrumento de Revisión de Ideas Iniciales frente al Enlace Químico</i>	68
7.2.	Del Instrumento Introducción al proceso de Modelación (La caja negra).....	72
7.3.	<i>Del Instrumento La modelación en la ciencia y la ciencia escolar</i>	76
7.4.	<i>Del Instrumento Las propiedades de las sustancias</i>	83
7.5.		
7.6.	Del Instrumento Estructura conceptual del Enlace Químico.....	86
8.	CONCLUSIONES.....	97
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	99
	ANEXOS.....	118

INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de reconocer la naturaleza del conocimiento químico, la filosofía de la química se ha venido estructurando y enfocando para dar respuesta, a los diversos problemas que han conllevado a considerar a la química como una ciencia fenomenológica y secundaria reducida a la física. Uno de los diversos tópicos que se debaten en este campo de investigación, es el *problema del Realismo Científico*, que se centra en la pregunta de la existencia o no de referentes de los términos teóricos en química (Labarca, 2005). El realismo científico sostiene que el conocimiento sobre fenómenos independientes de la teoría es el producto de una investigación científica exitosa y que tal conocimiento se hace posible, aún en aquellos casos en que el fenómeno relevante no se puede observar. Sin embargo, en la enseñanza de la química, esta posición desde un enfoque positivista, ha conllevado a caer en un “realismo ingenuo”, teniendo en cuenta el discurso que manejan los docentes en el aula, al considerar las teorías científicas y los conceptos como “verdades absolutas y reales”. El presente trabajo busca establecer la importancia de una transformación en el discurso en el aula frente a las explicaciones (Scerri, 2001) del concepto de enlace químico y construir las formas de significar de los modelos propios de la química, para rescatar su estatuto epistemológico y su autonomía; tomando como punto de partida una reconstrucción histórica-epistemológica del concepto de enlace químico, que se enfoca en resaltar el lenguaje, simbología, perfil didáctico y las formas de significar en que cada modelo que fue planteado y se fundamenta a partir de las cinco revoluciones históricas de la química (Chamizo, Castillo, & Pacheco, 2012; Chamizo, 2011; Jensen, 1998), para poder ubicar el periodo de tiempo y los posibles cambios paradigmáticos.

De otro modo, se considera fundamental consolidar una noción de modelo, que permita la reconstrucción y comprensión de cualquier concepto químico, en este caso de enlace químico, a partir de las formulaciones teóricas en química; pero, es necesario, en principio, establecer que los modelos son *representaciones idealizadas* de una *parte de la realidad* (Lombardi, 2011; Chamizo, 2010; Gallego-Badillo, 2004), los cuales se diferencian entre sí en el sentido y significado que le dan a la porción de mundo que modelan (Chamizo, 2006); por otra parte, dichos modelos son inacabados desde la perspectiva semanticista, y pueden clasificarse teniendo como criterios bien sea su finalidad ó los modos de representación de los objetos que modelan, los cuales en consecuencia, facilitan su comprensión (Gilbert, 2004); un ejemplo de ello, se presenta en el uso de símbolos para la

representación de objetos y leyes que, en el caso de la química, se expresan según la lógica del lenguaje químico.

Diferentes investigaciones sobre el aprendizaje de las ideas centrales de la química (Talanquer, 2010) como el caso del enlace químico, ha mostrado que los estudiantes, construyen y realizan explicaciones que no son aceptadas por las teorías y modelos de la ciencia. Los estudiantes “asimilan” la nueva información intentando incorporarla con las estructuras conceptuales que ya poseen, en la mayoría de los casos se construyen representaciones y conceptualizaciones parciales (Flores y Gallegos, 1999) que conducen a errores conceptuales. La enseñanza de la química no es una tarea sencilla, ya que los estudiantes deben aprender conceptos, modelos y un lenguaje netamente simbólico, que necesita de un alto nivel de abstracción para lograr interrelacionar los tres niveles de pensamiento: nivel molar, nivel molecular y nivel eléctrico. (Jensen W. , 1998).

JUSTIFICACIÓN

Cabe resaltar que el concepto de enlace químico es central en la química, puesto que sirve como argumento teórico para explicar las propiedades químicas de las especies iónicas y moleculares (Gillespie, 2006; Cremer & Kraka, 1984) teniendo en cuenta la reactividad y selectividad que estas presentan, con respecto a otras especies. En publicaciones anteriores se ha estudiado las concepciones que presentan los estudiantes sobre el enlace químico y sus dificultades; y otras en donde se plantean estrategias de enseñanza y aprendizaje del concepto (García-Franco, Garritz, & Chamizo, 2008), y es a partir de esta revisión bibliográfica y la experiencia en el aula donde surge la idea de plantear esta investigación.

Al tener la química un lenguaje propio netamente simbólico y abstracto, los docentes se enfrentan a la necesidad de buscar estrategias que permitan la comprensión de los diferentes conceptos centrales (como es el caso del enlace químico), de ahí que la enseñanza basada en los modelos y el modelaje científico, propicia el desarrollo de habilidades en el estudiante que conlleva a la comprensión de entidades no visibles. Es por ello que este trabajo se orienta hacia la evaluación de las formas de significar del enlace químico, en estudiantes de grado décimo, luego de la construcción de un Modelo Didáctico Analógico (Galagovsky & Aduriz-Bravo, 2001) para este concepto, haciendo énfasis en un aprendizaje como un fenómeno social, mediado por el lenguaje y producto de la interacción entre los sujetos. (Vitgosky, 1995)

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desconocimiento de los profesores de química en ejercicio y su discurso ha sesgado el papel, los alcances y los límites de los modelos en química (Aduriz-Bravo, 2012; Chamizo, 2006), lo que conduce a que los estudiantes presenten errores frente a la existencia y la predicción del enlace químico, permitiendo a un desconocimiento pleno de su naturaleza y a la consolidación de una falsa imagen del mundo químico, dado que consideran que los átomos tienen colores y formas definidas, o que los sistemas moleculares son rígidos, pues para que coexistan deben tener ángulos, direcciones y energías de enlaces definidos. Por tanto las formas de significar de los estudiantes, frente al comportamiento de las sustancias, se encuentran ligados a la visión macroscópica y fisicalista de las mismas. A partir de lo anterior, la pregunta que permite direccionar nuestra investigación *¿Cómo la construcción de un Modelo Didáctico Analógico para el concepto de enlace químico, permite transformar las formas de significar de los estudiantes?*

2. OBJETIVOS

2.1. *Objetivo General*

Analizar las formas de significar y los sentidos construidos frente al enlace químico, luego de la construcción de un modelo didáctico analógico en estudiantes de grado décimo.

2.2. *Objetivos Específicos:*

- Identificar las formas de significar y sentido iniciales que presentan estudiantes de grado decimo, frente al concepto de enlace químico.
- Diseñar un Modelo Didáctico Analógico como estrategia para la enseñanza del concepto de enlace químico.
- Reconocer la influencia de la utilización de un MDA, en la construcción de significados y sentidos de los estudiantes de grado decimo frente al concepto de enlace químico.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. LA NATURALEZA DEL CONOCIMIENTO QUÍMICO Y LA FILOSOFÍA DE LA QUÍMICA

Las ciencias naturales entre las que incluimos biología, matemática, física y química, en la actualidad se encuentran desarrolladas de manera significativa, por lo que no es extraño encontrar reflexiones acerca de cada una de ellas; su fundamento, su acción y la posibilidad de ser replanteadas basándose en las nuevas necesidades constituyen la denominada filosofía de las ciencias, de estas reflexiones se derivan , cuestiones de interés particular como el porqué, el para qué y el cómo propios de cada ciencia, se constituyen las ontologías científicas y con ellas las diferentes posturas propias de cada ciencia, así se fundamenta la filosofía de la matemática, la filosofía de la física y la filosofía de la biología. Resulta interesante encontrar que las reflexiones en el campo de la química sean de orden reciente, pues sólo hasta mediados de los noventa aparecen las primeras publicaciones al respecto.

Es de resaltar que la química es una ciencia que se puede rastrear como de fuerte actividad científica, ya desde los tiempos de Lavoisier comienza a fundamentarse como una ciencia moderna, que hasta el día de hoy con la síntesis de nuevos productos no cesa en su actividad ¿entonces por qué la filosofía de la química presenta una etapa tan tardía en su fundamento? ¿Es más, se puede referir a la química como una ciencia con fundamento? Seguramente estas cuestiones se han discutido con fervorosas intenciones en las últimas dos décadas, pero se hace necesario retomarlas para entender que ha sucedido con la filosofía de la química.

Las postulaciones filosóficas relacionadas con la química al parecer presentaron un fenómeno de solapamiento científico, caracterizado por una confusión de campo, durante varias décadas la física pretendió explicar los fenómenos propios de la química basándose en la matematización de las ciencias. Aunque el fenómeno se refiera a la proyección otorgada por la mecánica cuántica y su impacto en el mundo del siglo XX, esta matematización podría ser más antigua. Desde los tiempos de Thomson se planteaba la idea de explicar el mundo bajo las matemáticas newtonianas y en la fisicoquímica del siglo XIX se proponen cuestiones físicas para resolver cuestiones químicas. En definitiva, para el siglo XX la idea de una química explicada desde la física se hace común, la mecánica cuántica y la fisicoquímica parecieran explicar las cuestiones químicas, la tendencia fiscalista se fortalece y la química como ciencia se ve cuestionada.

Las propuesta atómica de Bohr ratifica esta tendencia fiscalista y el átomo planteado por los químicos, se convierte en deleite de los físicos, la cuantificación de la energía trae consigo el desarrollo de la propuesta matemática para el átomo, la cual enfoca el Pensamiento de los físicos hacia la no necesidad de la química al considerarse que su fundamento se puede explicar desde la física misma.

La tendencia a considerar que ciencia es todo aquello que se pueda explicar en fundamentos matemáticos crece, y acotaciones como las de Comte y el mismo Kant presumen de la química como una ciencia en desventaja, pues al no presentar ecuaciones complicadas y matematizadas como si lo hacia la física, se tiende a considerar inferior, en definitiva las ecuaciones matemáticas de alta complejidad son catalogadas de un grado más científico que los postulados presentados por la química y que se consideran fenómenos plenamente descriptivos, se podría considerar que las ecuaciones diferenciales si hicieron esa diferencia.

Para el siglo XX la aparente desventaja de la química frente a la física trajo consigo nociones de un mundo diferente al experimentado en el anterior siglo, la industria se transforma y la tecnología procedente de ella también lo hace, los diferentes productos en su mayoría de tendencia artificial se imponen a nivel mundial, los nuevos productos no solo igual a los productos naturales, (entendiendo a estos productos naturales como los producidos por la naturaleza sin la intervención del hombre) sino que los mejoran, la industria de los fármacos se dispara y las nano ciencias realizan sus primeros pinitos. La síntesis entonces se convierte en una poderosa herramienta química, donde las predicciones cuánticas que explican la posibilidad de un átomo desde la física, no tienen vigencia en la síntesis de estos nuevos productos.

Es de considerar que durante el siglo XX la tarea de los químicos fue ardua y consecutiva los aportes evidenciados arrojan una lectura de mundo completamente diferente al siglo XIX, la revolución industrial trae consigo el desarrollo económico de muchos países, el orden de los poderes a nivel mundial es cuestionado, el mismo ciclo vital con las investigaciones adelantadas en química orgánica, bioquímica y biotecnología es alterado, los productos sintéticos se producen en cantidades y los adelantos en disciplinas relacionadas con la química no se hacen esperar. Sin embargo la actividad científica del momento se desarrolla bajo la consigna de trabajo duro y arduo donde al parecer la reflexión sobre la actividad científica y la naturaleza propia de la química no se da.

No es de extrañar que bajo estos preceptos el espacio para la reflexión y el análisis de tan ardua actividad se deje de un lado, es más esta consideración ocasiono que sólo hasta el final del siglo se iniciaran las primeras reflexiones que consideran la naturaleza propia de la química, relacionando a la misma como una actividad humana, la cual se ha desarrollado en par con la escuela y que necesita ser replanteada y porque no repensada para adaptarse a las nuevas necesidades. La fuerte tendencia a la separación física - química se ha fortalecido, la búsqueda de una identidad propia en la química al considerarla diferente a la física se ha propiciado, pues bien a diferencia de la física la química puede ser fundamentada sin ecuaciones matemáticas de alto grado de complejidad. Se considera que aunque la teoría cuántica propone la posibilidad de un átomo físico, este átomo no tiene características predictivas con respecto a los elementos de la tabla periódica, por lo tanto la química no puede ser reducida a la física.

La filosofía de la química se empieza a gestionar alrededor de veinte años atrás donde las preocupaciones por la esencia de la química, su identidad, la manera de enseñar, el lenguaje y los modelos empleados para esta disciplina traen como resultado una fuerte reflexión que presume la no reducción de esta ciencia a la física. Se propone romper con la tendencia positivista lógica, aparecen las primeras revistas científicas como la Hyle y Foundations of Chemistry y se cuestiona el método científico.

Al respecto la filosofía de la química considera algunos tópicos de interés referentes a la naturaleza de las entidades químicas donde el fundamento ontológico y epistemológico presenta fuertes argumentos que defienden su autonomía. En relación a la naturaleza de las entidades químicas se desprende el realismo, se parte del precepto de que la química tiene todo un mundo construido producto del trabajo investigativo de siglos, en este mundo los estimativos teóricos han considerado como reales algunos conceptos que aún se discuten, muestra de ello es el orbital molecular, el cual es un concepto netamente matemático y por lo mismo irreal. En estas reflexiones filosóficas de la química los modelos son considerados, no solo por su influencia científica sino por su impacto social y se estima la relación cercana entre la química y la escuela; a su vez esto da pie para que se cuestione frente a los modelos tanto en su sentido como en su forma de significar.

3.1.1. El realismo Científico

El realismo afirma que tratamos de formar teorías científicas verdaderas acerca del mundo, independientemente de lo que sabemos: *la ciencia aspira a la verdad y la verdad se corresponde con el mundo.* (Labarca, 2005) ¿Pero que determina esa verdad?, es más, ¿que define que la búsqueda de esa verdad sea el objetivo de la ciencia?

Los defensores del realismo científico, han intentado argumentar la existencia ya sea de las teorías como de las entidades. Sin embargo, el realismo científico presenta una ambigüedad frente a los diferentes argumentos, que sostiene la existencia. A continuación se hace hincapié de algunas tesis que desglosan el realismo científico, propuesto por Lucena (1998):

Realismo Ontológico: Las entidades que son postuladas por las teorías científicas existen.

Realismo Epistemológico: Sin importar los procesos cognitivos, las teorías científicas proporcionan el conocimiento adecuado de la “realidad”.

Realismo Teórico: Las teorías científicas son falseables.

Realismo Semántico: Las teorías científicas son verdaderas o falsas correspondientes a la realidad.

Realismo Progresivo: La meta que presenta la ciencia es buscar la verdad. Las nuevas teorías contienen más verdad.

A pesar de las diversas posturas sobre el realismo, ya sea de las teorías o de las entidades, el realismo científico se ha convertido en un híbrido que ha conducido a una serie de malos entendidos, que desembocaron en que, por realismo, no se entienda una sola posición sino más bien un abanico de ellas. (Martínez, 2005). Frente a este tema se han propuesto en las últimas décadas otras versiones del realismo científico, como las de Ian Hacking, que por ejemplo, es realista acerca de las entidades pero no de las teorías.

3.1.2. ¿Las entidades existen?

El problema respecto de las entidades es si existen o no. Hacking afirma que muchas entidades teóricas realmente existen, lo que significa que hay un nivel ontológico real al cual ellas pertenecen. Tales entidades son independientes de la

teoría que las postula. Las razones para creer en tales afirmaciones provienen no sólo de las propias teorías científicas, sino de una argumentación filosófica, acerca de la posibilidad de la observación del mismo tipo de entidades en la experimentación, a partir de procesos físicos diferentes. (Martínez, 2005). La idea es que en la experimentación se hace algo, usando o manipulando otras entidades cuya identificación y manipulación es posible entre otros factores por las teorías.

Esa manipulación se ve como un criterio efectivo de existencia real de las entidades manipuladas. (Hacking, 1996). El argumento se fortalece al hacer referencia a la posibilidad de identificar la misma entidad por medio de diferentes procedimientos experimentales, que se basan en diferentes principios teóricos, con lo que se muestra que las entidades no dependen de tal o cual teoría específica.

En Representar e intervenir, Ian Hacking (1996) sostiene que no puede haber ningún argumento decisivo a favor o en contra del realismo en el nivel de la representación. Los debates que usualmente hablan acerca de teorías, explicación y predicción, son necesariamente inconclusos. Afirma que la ciencia experimental conduce fuertemente a un realismo acerca de las entidades postuladas por teorías. Su argumento experimental a favor del realismo científico acerca de las entidades, confía en que usamos entidades para lograr efectos o para estudiar otros fenómenos. *“La realidad tiene que ver más con lo que hacemos en el mundo, que con lo que pensamos acerca de él”*. *“El realismo es asunto de intervenir en el mundo, más que de representarlo en palabras y pensamiento”* (Martínez, 2005)

Por ello Hacking cree que es el trabajo experimental el que proporciona la mejor evidencia para el realismo científico, porque las entidades que en principio no pueden ser observadas se manipulan regularmente para producir nuevos fenómenos y para investigar otros aspectos de la naturaleza. (Hacking, 1996).

Por tanto, no es de considerar los enlaces químicos como las fuerzas que mantienen unidos los “átomos individuales”, sino a partir de lo propuesto por Ian Hacking, como las entidades que permiten intervenir en el mundo físico, a través de la experimentación, para definir a las especies químicas en términos de su selectividad y reactividad, enmarcados en una ontología interna. Es así que se puede definir las sustancias como iónicas ó covalentes, a partir de sus interacciones y relaciones con otras. Al lograr usar los enlaces químicos para intervenir en forma sistemática, la entidad ha dejado de ser teórica y se torna experimental.

3.2. LA ENSEÑANZA FUNDAMENTADA EN MODELOS Y EL MODELAJE CIENTÍFICO

Los docentes de ciencias, en la mayoría de los casos, consideran que el conocimiento científico se ha construido a partir de los descubrimientos de leyes basadas en la “realidad” y las teorías científicas se enseñan como verdades absolutas. En el ámbito de la enseñanza de la química aún se plantean métodos de aprendizaje memorístico, carente de significado y sentido, acompañado de resolución excesiva y tediosa de ejercicios de lápiz y papel y prácticas de laboratorio poco adecuadas; lo que relega a la enseñanza de la química a una simple transmisión de una serie de conocimientos, donde el estudiante toma el rol de ser solamente un acumulador de estos. No existe una estructura lógica de los contenidos conceptuales (Pozo, J.L. & Gómez, 2004).

Se hace necesario asumir nuevas propuestas de enseñanza de la ciencia, en donde se vea a la ciencia como una actividad que se fundamenta en la transformación representacional y material del mundo (Chamizo, 2009), es decir se debe hablar de la ciencia como un proceso que construye modelos con el objetivo de representar al mundo. (Chamizo J. , 2010) (Pozo, J.L. & Gómez, 2004). El aprendizaje de la ciencia como la química conlleva a la comparación y diferenciación de modelos y no de la adquisición de saberes y verdades absolutas, por lo tanto la reestructuración y consideración de sus modelos es una buena propuesta para aportar a su enseñanza. (Galagovsky & Adúriz- Bravo, 2001) (Justi, 2006) (Chamizo J. , 2010). Esta forma de enseñanza se concibe como una herramienta útil para formular preguntas, dar explicaciones, generar discusiones, predecir, promover representaciones mentales y materiales (Chamizo J. , 2010), permitiendo que los estudiantes desarrollen una comprensión coherente sobre los contenidos, generando una opinión crítica respecto a los fenómenos estudiados. (Justi, 2006).

En el contexto de la enseñanza de la ciencia los docentes hablan de modelos para explicar los fenómenos que estudian o las teorías científicas que enseñan, pero no existe una conciencia clara sobre su naturaleza. A continuación se realizará una descripción con una tipología de los modelos para la enseñanza de la ciencia y el proceso de modelaje.

3.2.1. Tipología de los modelos.

El término modelo tiene numerosos significados, por lo tanto es una palabra polisémica. Desde el punto de vista epistemológico ha sido empleada también en varios sentidos, ya que consideran *representación de ó* como un instrumento para explicar algún fenómeno (poseen un carácter explicativo). (Chamizo J. , 2010) Cuando se consideran representaciones, el modelo perderá ciertos rasgos de su referente, ya que su atención se centra en aspectos específicos del mismo, por lo que generalmente es una representación simplificada. (Raviolo, 2009), De esta manera, las funciones de los modelos son: entender, describir, explicar y predecir un fenómeno a partir de otro en principio más accesible y conocido que el primero, que se emplea para estudiar de forma contextualizada, una cierta porción del mundo con una finalidad, que puede ser conocer, investigar, comunicar y enseñar. (Raviolo, 2009).

Teniendo en cuenta la clasificación planteada por (Chamizo J. , 2010) existen tres aspectos de los modelos que permiten identificarlos claramente:

- *De acuerdo con la analogía, los modelos (**m**) pueden ser mentales, materiales o matemáticos.*
- *De acuerdo con su contexto pueden ser a su vez didácticos o científicos, dependiendo a la comunidad que los justifique y el uso que se les dé. Aquí es muy importante el momento histórico en que los modelos son construidos.*
- *La porción del mundo (**M**) que se va a modelar puede ser un objeto, un fenómeno o un sistema integrantes del mismo.*

Los modelos se basan en analogías y esto permite acceder y obtener información sobre las entidades estudiadas, sobre todo aquellas que no pueden observarse o medirse directamente. (átomo, moléculas, estrellas); esta relación permite al investigador elaborar hipótesis sobre las mismas. (Raviolo, 2009). Por tal razón, es necesario profundizar en las analogías y a continuación se describen los aspectos para identificar los modelos teniendo en cuenta las analogías.

El modelo como representación está relacionado con el objeto a través de la analogía (Chamizo J. , 2010), es por ello que las propiedades del objeto, el sistema y el proceso a modelar se basan en las analogías, resaltando los rasgos

esenciales, los de mayor interés o que se consideren pertinentes para incorporar al modelo, por lo tanto los modelos no son iguales a las entidades que representa pero sus similitudes permiten plantear predicciones que pueden ser sometidas a prueba. A partir de la analogía, los modelos se identifican en: *mentales*, *materiales* y *matemáticos*. (Chamizo J. , 2010).

Los modelos *mentales* son representaciones subjetivas, personales e internas, que adquieren un carácter explicativo y predictivo. Teniendo en cuenta la situación que representan, se consideran incompletos, imprecisos e inestables ya que se encuentran sometidos a un proceso de revisión y modificación, cuando se olvidan detalles que se descartan o nuevos elementos que pueden aparecer. (Chamizo J. A., 2010). En el proceso de enseñanza y aprendizaje se consideran como representaciones mentales, en una etapa inicial donde la comprensión frente a la situación modelada es muy baja. Los modelos *materiales* se consideran como la expresión de los modelos mentales en objetos reales, (Chamizo J. , 2010) los cuales conservan las proporciones relativas de los objetos que representan: maquetas, aviones para prueba, un mapa entre otros. Para (Justi R. , 2006) el modelo es una representación concreta de alguna cosa”. Los modelos *matemáticos* son en general ecuaciones o leyes expresadas por algún tipo de lenguaje matemático, signos, diagramas o gráficas, que se construyen para describir una porción del mundo que se está modelando. (Chamizo J. , 2010). Los modelos matemáticos identifican variables que se fundamentan en el sentido común y en consideraciones teóricas, formulan hipótesis empíricas que relacionan estas variables e introducen simplificaciones del objeto que permiten la formulación y manipulación matemática; Contrastan y extrapolan en relación con el objeto modelado. (Chamizo J. , 2010).

Los modelos de la ciencia han sido contruidos, para dar sentido a los fenómenos de la naturaleza y se han avalado por una comunidad científica, teniendo en cuenta los contextos en los cuales se han usado y elaborado, es importante diferenciar dos contextos para dar una clasificación de modelos: el contexto de la investigación científica, donde se generan *los modelos científicos* y el contexto de la ciencia escolar donde se generan *los modelos didácticos*. (Chamizo J. , 2010).

Los modelos científicos transforman al mundo, ya que como representaciones abstractas y simplificadas explican fenómenos y predicen hechos naturales cuando aportan nuevos datos, sin embargo es de resaltar, que no todas las

representaciones se pueden considerar modelos científicos, sino solo las representaciones especializadas que integran aspectos de los mecanismos y de las causas que permiten ilustrar, explicar o predecir un fenómeno. A partir de un mismo hecho, se pueden crear modelos diversos en función de las diferentes maneras de analizarlo, “mirarlo”, por tanto los modelos científicos pueden estar puestos a ser modificados. El contexto es un factor determinante para que estos modelos científicos evolucionen, dependientes de nuevos instrumentos, nuevas maneras de mirar los datos y nuevos modelos que son verificados, avalados y consensuados por la comunidad científica.

Se ha considerado que aprender ciencias naturales en la escuela, se debe enmarcar en la reconstrucción de los contenidos científicos por medio de una imagen didáctica adecuada, (Galagovsky & Adúriz- Bravo, 2001) por tanto la transposición didáctica adquiere importancia, ya que es concebida como la reelaboración del conocimiento científico de forma que sea accesible para el alumnado; en otras palabras, para poder ser empleados en el aula, los conceptos y modelos teóricos de la ciencia deben ser reconstruidos, distinguiéndose así “la ciencia de la comunidad científica” de “la ciencia escolar”, aclarando que la ciencia escolar no es una simple reducción de la ciencia de la comunidad científica, sino una reconstrucción que debe seleccionar los aspectos fundamentales de cada modelo o teoría; Estos aspectos deben ser útiles y relevantes para los estudiantes en la elaboración de explicaciones significativas a cerca de los fenómenos naturales. (Sanmartí & Izquierdo, 1997). Se puede afirmar que la ciencia escolar emplea modelos propios que son transposiciones didácticas de los modelos de las distintas teorías científicas. Según (Chamizo J. , 2010), en un contexto de ciencia escolar, los modelos didácticos pueden ser de dos naturalezas:

- Modelos didácticos que corresponde a la enseñanza, son los presentados por los expertos en el entorno escolar ya sean profesores ó investigadores educativos. Ejemplo las ilustraciones que realizan los docentes y los modelos moleculares de varillas y esferas.
- Modelos didácticos que corresponde al aprendizaje, son los elaborados por los estudiantes. Ejemplo los dibujos realizados por los alumnos, maquetas y modelos a escala.

Por tanto, los modelos didácticos son interpretados por dos grupos diferentes, como lo indica (Chamizo J. , 2010) en la siguiente tabla:

Aprendices	Expertos
Los modelos son materiales	Los modelos son mentales, materiales y matemáticos.
Ayudan a conocer y a comunicarse con el mundo real.	Los modelos ayudan a entender o a pensar sobre una porción contextualizada el mundo.
Modelos diferentes del mismo objeto, sistema, fenómeno o proceso muestran diferentes aspectos del objeto, sistema o proceso real.	Diferentes modelos de diferentes objetos, sistemas o procesos pueden construirse para diferentes propósitos.
Los modelos pueden cambiar si son equivocados o se encuentra nueva información.	Los modelos son reemplazados por otros más adecuados con los propósitos establecidos

Tabla 1 Diferencias de cómo son entendidos los modelos por los aprendices (que no sólo son los alumnos, en este grupo también se encuentran visitantes de museos y consumidores en general) y los expertos. (Chamizo J. , 2010)

Sin embargo, una dificultad que surge al emplear modelos didácticos es que en algunas ocasiones se emplean modelos didácticos “simplificados”, que provienen del modelo científico descontextualizado históricamente, que presentan compatibilidad con otros modelos alternativos y se muestran como “verdades absolutas”. (Galagovsky & Adúriz- Bravo, 2001). Por tanto para realizar el proceso de transposición y simplificación didáctica de forma exitosa, se requiere un conocimiento profundo sobre el tema y su evolución histórica y conceptual.

En el contexto de ciencia escolar de los estudiantes, se debe tener en cuenta que para hacer ciencia es necesario actuar con una meta propia, interpretar el mundo, darle significado para intervenir en él, (Hacking, 1996), utilizando la capacidad humana de representar mentalmente lo que se está haciendo y de emitir juicios. (Sanmartí & Izquierdo, 1997). En otras palabras, los estudiantes conseguirán interpretar, utilizando sus modelos, los hechos del mundo que hayan podido ser discutidos y contruidos en el marco de los modelos teóricos previstos en el currículo y en las actividades realizadas, el conocimiento será adquirido a partir de

la manipulación y la construcción de modelos adecuados. (Izquierdo, Sanmartí, & Estaña, 1999). Este proceso recibe el nombre de modelaje. (Justi R. , 2006) (Chamizo J. , 2010).

El modelaje es un proceso dinámico en donde se interpreta, se relaciona e integra información del mundo real para llegar a la elaboración inicial de modelos mentales, que serán reformulados y expresados a través de modelos materiales. Cuando el modelo no encaja con los datos empíricos puede ser ampliado y corregido. (Chamizo J. , 2010). En un contexto de enseñanza de la ciencia basada en la elaboración de modelos, se han identificado etapas y sub-etapas que están presentes en el proceso de modelaje, como ha indicado (Justi R. , 2006)

3.2.2. La enseñanza y el aprendizaje de la química utilizando el proceso de modelaje.

La enseñanza y el aprendizaje de la química, no es un proceso sencillo, ya que los estudiantes deben establecer conexiones entre sus conceptos, lenguaje y modelos, para representar lo no observable, y esto demanda un alto nivel de abstracción como lo señala (Talanquer V. , 2009). Los modelos teóricos de la química ayudan a interpretar fenómenos químicos, ayudando a la predicción del comportamiento de sistema químicos bajo condiciones específicas impuestas por el entorno circundante, estableciendo correlación entre datos experimentales y cálculos teóricos. (Guevara & Valdez, 2004). Frente al trabajo experimental, los hechos de la química son también muy complejos, ya que cada vez que se estudia un fenómeno químico, ya sea de forma teórica o experimental, se debe recurrir a una aproximación modelada, y por tanto las limitaciones de nuestros sentidos no nos permite visualizar directamente los fenómenos, pero el imaginar de algún modo cómo suceden estos fenómenos permite establecer un modelo. En el contexto de ciencia escolar, la enseñanza basada en modelos y el modelaje, permite dar paso al uso de metodologías propias de la química, ya que integra el trabajo experimental en la construcción de modelos, facilitando la comprensión de las propiedades de las sustancias químicas o sucesos químicos.

3.2.3. Un Modelo Didáctico Analógico para la enseñanza de la Química.

Se han publicado diversas estrategias que proponen actividades basadas en el uso y la elaboración de modelos para la enseñanza de la química. Un ejemplo de modelo didáctico reportado en la literatura es el denominado Modelo Didáctico Analógico (MDA), (Galagovsky & Adúriz- Bravo, 2001) este modelo permite

conocer el tema que quiere enseñar, a partir de la abstracción de conceptos centrales y sus relaciones funcionales, su principal finalidad es el de traducir el tema a una situación, lo más entendible posible por parte de los estudiantes, por lo tanto puede provenir de la vida cotidiana, de la ciencia ficción ó del sentido común. (Galagovsky & Adúriz- Bravo, 2001).

A partir de lo planteado por (Galagovsky & Aduriz-Bravo, 2001), para superar el concepto *análogo concreto*, como el ejemplo que utiliza el profesor utilizando como medio el sentido común o la cotidianidad y lograr acercarse al concepto de *modelo científico*, se define el *modelo didáctico analógico* (MDA) como una herramienta de la ciencia escolar.

En un contexto de enseñanza de la ciencia y utilizar como estrategia, un *Modelo Didáctico Analógico*, se han identificado tres momentos importantes, como lo indica (Galagovsky & Aduriz-Bravo, 2001), El primero: Plantear situaciones analógicas, (antes de abordar el tema específico), donde el estudiante formula hipótesis tratando de explicar *por qué, qué, cómo, cuando* ocurre los fenómenos establecidos. Un segundo momento, en el cual se hace la presentación de la información proveniente de la ciencia erudita, y el estudiante construye nuevas hipótesis que relaciona el MDA con el modelo científico, estableciendo similitudes y diferencias, y un tercer momento, que constituye el propósito de el MDA, La *metacognición* ó tener conciencia de la conceptualización obtenida por parte de los estudiantes, luego de un “salto cognitivo” logrado en el tema.

3.3. SOCIOINTERACCIONISMO DE LEV SEMIONOVICH VIGOTSKY

La importancia del uso de herramientas y símbolos en relación con el conocimiento, y los planteamientos acerca de la relación entre el sentido común y el conocimiento de la ciencia erudita, entre el pensamiento y el lenguaje y entre el individual y lo social, señala la importancia de la perspectiva teórica planteada. Este investigador, en su búsqueda sobre el desarrollo del lenguaje en relación con el pensamiento, analiza el lenguaje y el habla resaltando su doble papel: primero, como instrumentos psicológicos que ayudan en la formación de otras funciones mentales superiores, y segundo como funciones mentales superiores que experimentan en desarrollo cultural. Para (Vigotsky, 1995) la relación entre el pensamiento y el habla es variable, de acuerdo con el estadio evolutivo, sea de orden filogenético u ontogenético. Considera al lenguaje como el sistema de signos más importante, ya que permite la descontextualización y el habla es la que permite fundamentar el desarrollo del lenguaje. A partir de este planteamiento,

(Vigotsky, 1995) propone, que existe *la inteligencia práctica* [haciendo referencia al uso de instrumentos] y *la inteligencia abstracta* [que hace referencia a significados], las cuales se desarrollan en un principio de forma separada, pero luego, cuando el niño comienza a hablar, al intentar resolver un problema, en un habla egocéntrica como utilización del lenguaje para mediar acciones, se hace evidente una convergencia entre estas.

Por tanto, en el intento de resolver problemas, implica la convergencia entre la utilización de instrumentos y el uso de signos, y en este proceso, el habla egocéntrica [proveniente del habla social], permite la internalización, la autonomía y el pensamiento abstracto, dando lugar a procesos mentales superiores, por ejemplo, *la formación de conceptos*.

En palabras de (Vigotsky, 1995) *“El concepto no es una formación aislada, fosilizada e inmutable, sino una parte activa del proceso intelectual puesta continuamente al servicio de la comunicación, el entendimiento y la resolución de problemas”* (Vigotsky, 1995)

1. Los significados de las palabras evolucionan en la edad infantil y existen fases principales de ese proceso.
2. Descubre el curso del desarrollo de los conceptos científicos en el niño, sus diferencias en comparación con la evolución de los conceptos espontáneos y las leyes fundamentales de estos procesos.
3. Demostró la naturaleza psicológica del lenguaje escrito como función independiente del habla, así como su relación con el pensamiento.
4. Comprobó experimentalmente la naturaleza psicológica del habla interna y su relación con el pensamiento.

La corriente socio interaccionista considera al ser humano teniendo en cuenta sus relaciones con la cultura, con el lenguaje y el otro, por tanto la construcción del conocimiento en el aula, no es un proceso que los estudiantes pueden hacer solos, por el contrario, está condicionado al lenguaje y la interacción con el otro.

3.4. CONSTRUCCIÓN HISTÓRICA Y EPISTEMOLÓGICA DEL ENLACE QUÍMICO

La química y la construcción de sus modelos, ha utilizado la representación icónica modificada como un recurso conceptual y metodológico aceptado por toda una comunidad de expertos, para comprender e intervenir en lo no observable, (Urbina, Gallego, Perez, & Gallego, 2008) y en el intento de rescatar la identidad y autonomía de los conceptos químicos, y evitar el reduccionismo, la presente reconstrucción histórica y epistemológica del concepto de enlace químico, se enfoca en resaltar el lenguaje, simbología, perfil didáctico y las formas de significar en que cada modelo fue planteado y se fundamenta a partir de las cinco revoluciones históricas de la química (Chamizo, Castillo, & Pacheco, 2012; Chamizo, 2011; Jensen, 1998), para poder ubicar el periodo de tiempo y los posibles cambios paradigmáticos. Figura 2

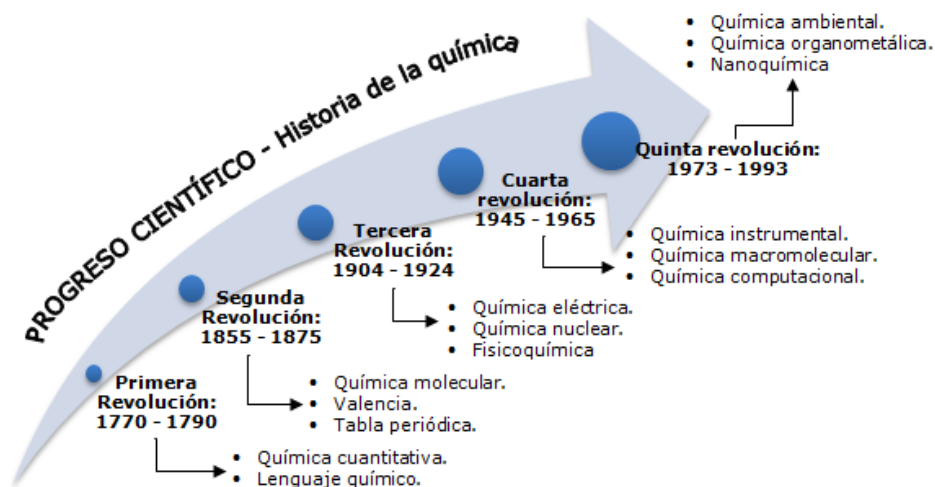


Figura 2: Las revoluciones químicas a lo largo de la historia de la química. Adaptado de Jensen (1998) y Chamizo (2012, 2011). El Desarrollo científico asociado a la historia de la química es tomado en base a Kuhn (1962).

3.4.1. Primera Revolución Química: Fuerzas de atracción y afinidad.

Desde el momento en que se consideró la existencia de partículas elementales, la búsqueda de explicaciones en torno a la fuerza que era capaz de unir las, dio paso a especulaciones a diferentes concepciones, algunas con una visión antropomórfica, como el de considerar que las partículas elementales se rechazan o se unen entre ellos, debido a “simpatías” ó “enemistades”, como las propuestas por Newton (1642-1727) en su *Óptica*, donde sugiere que la materia se compone

de partículas y al considerar que las partículas no eran inertes y que se encontraban asociadas a fuerzas de atracción y repulsión, análogas a las fuerzas gravitatorias, establece uno de los primeros modelos sobre el enlace químico, donde la fuerza de gravedad es la principal responsable. (Chamizo J. , 1992) Este modelo prevaleció hasta finales del siglo XVIII. Georg Ernst Stahl (1660-1734), utiliza la idea de afinidad distanciado de las teorías establecidas para la época, ya que postula una regla de gran importancia para el análisis químico: “lo semejante se une a lo semejante”, por tanto, las relaciones de la afinidad entre dos sustancias, reflejan el hecho que comparten el mismo principio. (Bensaude-Vincent & Stengers, 1997), pero al resaltar que el término de afinidad, tiene una relación íntima al concepto de enlace químico, es importante mencionar el aporte realizado por Etienne François Geoffroy (1672-1731), quien presentó una *Table des différents rapports observés entre différents substances* en 1718. (Bensaude-Vincent & Stengers, 1997), una de las primeras tablas de afinidad fundamentada en el siguiente postulado: Si dos “sustancias” que tienen alguna tendencia a combinarse están unidas entre sí en un mixto, y se añade una tercera que tenga más afinidad por alguna de las dos, se unirá a ella y lo separará de la otra. (Figura 2). Este tipo de tabla resultó útil, en términos empíricos, ya que proporcionaba información sobre los cambios producidos por la interacción de cuerpos analizados. A partir de lo anterior, ayuda a traer a acotación acerca de la “reactividad” y “selectividad” que presentan las sustancias, y que está ligada a su íntima naturaleza.

↪	⊖	⊙	⊕	▽	⊖	⊕	SM	♁	♂	♁	♀	☾	♂	♁	▽
⊖	♁	♂	♁	⊕	⊕	⊕	⊖	⊖	☾	♂	♁	♁	♂	♁	▽
⊕	♁	♀	⊖	⊙	⊙	⊙	⊕	♂	☾	♀	PC	♀	♁	♁	⊖
▽	♀	♁	⊕	⊖	⊖	⊖	⊙	♀	♁						
SM	☾	♂	▽		♁		♁	♁	♀						
	♂	☾	♂		♁			☾	♁						
			♀					♁	♁						
			☾					♂							
	⊙							⊙							

- ↪ Esprits acides.
- ⊖ Acide du sel marin.
- ⊙ Acide nitreux.
- ⊕ Acide vitriolique.
- ⊖ Sel alcali fixe.
- ⊕ Sel alcali volatil.
- ▽ Terre absorbante.
- SM Substances metalliques.
- ♁ Mercure.
- ♁ Regule d'Antimoine.
- ⊙ Or.
- ♁ Argent.
- ♁ Cuivre.
- ♂ Fer.
- ♁ Plomb.
- ♁ Etain.
- ♁ Zinc.
- PC Pierre Calaminaire.
- ♁ Soufre mineral. [Principe.]
- ♁ Principe huileux ou Soufre.
- ♁ Esprit de vinaigre.
- ▽ Eau.
- ⊖ Sel. [dents]
- ▽ Esprit de vin et Esprits ar.

Figura 2 Tabla de Afinidades de Geoffroy (1718). En la parte superior de cada columna se encuentra una sustancia, y debajo de cada una se encuentran las sustancias con las cuales se pueden combinar, organizadas por grados de afinidad.

A partir del primer modelo icónico “químico” de átomo, propuesto por John Dalton (1766-1844) en su *A New Sistem of Chemical Phylosphy*, (1807), fundamentando su teoría en dos componentes: *atomismo gravitatorio* y *el atomismo cinético*, logrando quitarle la ininteligibilidad al átomo, en otras palabras sacarlo del plano metafísico; Dalton representa a los átomos con esferas, utilizando rayas ó puntos para diferenciar las sustancias simples y compuestas. A partir de su modelo atómico, propone *la ley de las proporciones múltiples*, fundamentando que los átomos no eran unidades mínimas de composición, sino unidades mínimas de combinación de la materia. (Brock, 1998; Bensaude-Vincent & Stengers, 1997) .De esta manera, junto al hecho de que se elabora la primera “pila voltaica” por Alessandro Volta [1745–1827], el cual consideró que la corriente eléctrica solo se debía al contacto de los metales.

Estos dos sucesos permitieron darle un nuevo enfoque a las unidades mínimas de la materia a nivel microscópico, ya que presentaban propiedades

electrostáticas ligadas a la afinidad y a la formación del enlace entre ellas (Chamizo J. , 1992). Luego con la electrolisis del agua y su descomposición en hidrógeno y oxígeno utilizando la pila voltaica, William Nicholson (1753–1815) y Anthony Carlisle (1768–1840), propusieron la electrolisis como un nuevo procedimiento analítico. (Brock W. , 1998; Bensaude-Vincent & Stengers, Historia de la química, 1997; Chamizo J. , 1992). Este procedimiento permitió corroborar lo postulado por Lavoisier, aunque con la salvedad de que el oxígeno y el hidrógeno desprendido del agua, se dirigía a polos diferentes. Las explicaciones en torno a este fenómeno serían realizadas posteriormente por Humphry Davy (1778–1829) y Jöns Jacob Berzelius (1779–1848) (Brock, 1998), quienes hicieron una primera aproximación hacia el enlace químico, realizando formulaciones teóricas sobre la transferencia de carga como fuerzas que permiten la atracción entre los átomos de un compuesto. Siendo la electrolisis una valiosa herramienta utilizada para analizar sustancias diferentes al agua, como las bases y los ácidos no sólo para estudiar sus propiedades microscópicas y sino además su comportamiento eléctrico: “la carga eléctrica de cada uno de los cuerpos ponderables producidos en el proceso electrolítico” ó en términos de Berzelius, los “electropositivos” y los “electronegativos”. (Brock, 1998; Bensaude-Vincent & Stengers, 1997).

Con la teoría atómica propuesta por Dalton, en el cual los átomos eran partículas indivisibles que tenían puntos de unión (Gallego, Pérez, Uribe, Cuellar, & Amador, 2004; Bensaude-Vincent & Stengers, 1997). Thomas Thomson, en 1813 estableció que los átomos son puntos que no se podían dividir los cuales se encontraban rodeados de esferas de atracción y repulsión, lo que permitía que la unión de dos o más elementos formara compuestos; además que esta unión se hacía en proporción determinada y fija. . Estas variaciones dependían o variaban según los elementos que constituyeran las uniones o enlaces (Gallego, Pérez, Uribe, Cuellar, & Amador, 2004). De esta manera, Michael Faraday [1791–1867], en 1834, basado en diferentes estudios sobre la electrólisis, propone un nuevo lenguaje para la comprensión de los procesos electrolíticos y las herramientas para analizarlos. Es de este modo que los términos de electrodos, cátodos, ánodos, cationes y aniones, para relacionar las sustancias electropositivas y electronegativas que anteriormente había postulado Berzelius. (Brock, 1998; Galache-López, Camacho-Domínguez, & Rodríguez-García, 1991). En 1834, Michael Faraday [1791–1867], con base en estudios realizados sobre la electrólisis, propone un nuevo lenguaje para la comprensión de los procesos electrolíticos, así como nuevas herramientas para el análisis de los mismos.

Faraday revisó y propuso algunas sugerencias sintácticas, surgieron los términos de electrodos, cátodos y ánodos, así como los de cationes y aniones, que eran las sustancias electropositivas y electronegativas de Berzelius, respectivamente (Brock, 1998; Galache-López, Camacho-Domínguez, & Rodríguez-García, 1991). Este nuevo lenguaje, pese a que no se difundió notablemente en la época, sería fundamental para comprender años más tarde la naturaleza iónica de las especies químicas en disolución, así como el fenómeno de disociación electrolítica, ambos postulados contruidos por Svante Arrhenius [1859–1927] en 1884 (Galache-López & Camacho-Domínguez, 1992).

Con el nacimiento de la química orgánica, el análisis orgánico y el primer programa de formación en química, realizado por Justus von Liebig [1803–1873], el campo de acción de la química era cada vez más grande y el desafío de sostener las propuestas de Berzelius era aún más fuerte. Sin embargo, Berzelius acopló sus formulaciones a la comprensión de la naturaleza química de los compuestos orgánicos y propuso la teoría de radicales, en la cual sugería que las especies orgánicas se encontraban conformadas por radicales con distinta carga eléctrica, que se unían o combinaban para la formación de un compuesto, obedeciendo así a las reglas establecidas para los compuestos inorgánicos, en las cuales la combinación de los átomos era explicada a partir de la neutralización de cargas contrarias (Brock, 1998).

Hasta este momento, la teoría de radicales de Berzelius proporcionaba todas las explicaciones frente a las uniones microscópicas de la materia y sus relaciones de combinación. No obstante, la teoría no sería exitosa por mucho tiempo pues, si bien la teoría de radicales brindaba explicaciones acerca de la conformación de los compuestos orgánicos, no explicaba otros fenómenos como la sustitución de átomos de hidrógeno por átomos de cloro en el proceso de blanqueamiento de las velas, realizado y estudiado posteriormente por Jean-Baptiste Dumas [1800–1884] y Auguste Laurent [1807–1853] en la década de 1830 (Brock, 1998; Bensaude-Vincent & Stengers, 1997).

Laurent en 1836 propone un postulado que derrumbaría la teoría de radicales y con ello, el dualismo electroquímico propuesto por Berzelius: el cloro electronegativo sustituye al hidrógeno electropositivo, lo que genera un compuesto orgánico halogenado y ácido clorhídrico, respectivamente (Brock, 1998). Desde el punto de vista electroquímico esto no era posible, porque se asumía que el compuesto orgánico y el cloro eran electronegativos, de modo que no podían

unirse de ningún modo (Bensaude-Vincent & Stengers, 1997); pero los experimentos realizados por Laurent demostraban lo contrario y brindaban explicaciones a otros fenómenos como los vistos por Faraday en 1821 de la acción del cloro sobre el etileno, por Gay – Lussac sobre el cianógeno o por Liebig y Wöhler sobre la transformación química del benzaldehído en cloruro de bencilo (Brock, 1998; Bensaude-Vincent & Stengers, 1997).

Dumas junto con Laurent propondrían una primera aproximación a la teoría de los tipos, donde las moléculas eran clasificadas por “tipos químicos”, cuando estos contenían el mismo número de equivalentes; esto significó que las sustituciones sobre un tipo químico daría lugar a fórmulas similares, aun cuando las propiedades fisicoquímicas de las sustancias obtenidas experimentalmente fueran muy diferentes (Brock, 1998).

William Williamson [1824–1904], antiguo estudiante de Liebig fue quien propuso una primera estructura molecular para las sustancias, teniendo como tipo químico fundamental el agua (Bensaude-Vincent & Stengers, 1997). Posteriormente, Charles Gerhardt [1816–1856] es quien desarrolla la teoría de los tipos, en la cual clasifica todos los compuestos de acuerdo a tres tipos químicos: el tipo amoniaco, el tipo agua propuesto por Williamson y el tipo hidrógeno o ácido clorhídrico [Imagen 1]. Pese a que Gerhardt no creyó en la existencia real de los cuerpos y tampoco en una posible estructura molecular que los conformaran, si creía en la existencia de fórmulas que los representaran y clasificó a las sustancias según tipos de compuestos y no el tipo de átomos que lo constituyeran (Brock, 1998; Bensaude-Vincent & Stengers, 1997).

Tipo hidrógeno	Tipo agua	Tipo amoniaco
<p style="text-align: center;">H H</p>	<p style="text-align: center;">H } } O H }</p>	<p style="text-align: center;">H } } N H }</p>

Imagen 1. Representación de las fórmulas propuestas por Gerhardt entre 1849 y 1853 para la clasificación de las especies químicas sobre la teoría de tipos. Tomado de Bensaude-Vincent & Stengers, 1997.

A pesar que el modelo de fórmulas propuesto por Gerhardt era exitoso, se hizo necesario modificar estas representaciones para que fueran herramientas útiles para la síntesis de sustancias, así como lo habían sido hasta ese momento para el análisis de las mismas (Bensaude-Vincent & Stengers, 1997). Por tanto, Edward Frankland [1825–1899] propone la “atomicidad” como la capacidad de un elemento para formar compuestos o combinarse en una proporción fija. Esta “atomicidad fija” permitía la combinación y cambiaba de un elemento a otro, teniendo como referente la atomicidad del hidrógeno que era uno (Bensaude-Vincent & Stengers, 1997). Frankland propone algunos elementos electronegativos entre los que se encuentran los halógenos [flúor, cloro, bromo y yodo] y algunos radicales orgánicos como el etilo, al que consideraba como átomos; también identificó algunos elementos electropositivos y los relacionó con los elementos metálicos (Gallego, Pérez, Uribe, Cuellar, & Amador, 2004). Pero fue a partir de sus experimentos sobre los compuestos organometálicos donde concluyó que los elementos tenían espacio suficiente para fijar un número determinado de átomos de otros elementos y a esta capacidad de combinación la denominó *atomicidad*, aunque en 1852 cambiaría al término de *valencia*, (Brock, 1998).

Frankland reconoció que la capacidad de combinación de los elementos pertenecientes al grupo del nitrógeno presentaba la tendencia a formar compuestos que contuvieran tres y cinco átomos de otros elementos. De esta forma, concluyó que estos elementos tenían dos números de atomicidad diferentes, que permitían la formación de varias combinaciones y en consecuencia, de distintos compuestos (Gallego, Pérez, Uribe, Cuellar, & Amador, 2004; Brock, 1998; Frankland, 1852). Por otra parte, la naciente idea de valencia condujo a la formación de una nueva forma de representación en química: la *fórmula estructural*. En consecuencia, las estructuras químicas ya no eran un modo de representación hipotético – inductivo, sino una ruta que facilitaba la síntesis de especies químicas (Bensaude-Vincent & Stengers, 1997).

Hasta este punto, el concepto de valencia ha sido y es valioso para la comprensión de la estructura y la dinámica microscópica de la materia, sin embargo no indica ni explica el por qué del enlace, por tanto la naturaleza del enlace químico no se pueda reducir a una tendencia o a la capacidad de combinación propia de los elementos químicos [valencia] (Chamizo J. , 1992). En

este sentido, se hace fundamental reconocer y analizar el impacto que tuvieron los postulados contruidos con base en el modelo de “atomicidad” ó “valencia”, los cuales permearían las subsecuentes formulaciones sobre las estructuras químicas y el enlace químico, claves para el desarrollo de la química a partir de la segunda mitad del siglo XIX (Brock W. , 1998; Bensaude-Vincent & Stengers, Historia de la química, 1997; Chamizo J. , 1992).

3.4.2. *¿Cómo se construyeron los primeros modelos de Enlace?*

La construcción del concepto de valencia y la incursión de las primeras formulaciones de la química orgánica como un naciente campo de investigación propio de la química (Bensaude-Vincent & Stengers, 1997), dieron paso a nuevas formulaciones acerca de cómo se unían los átomos para formar las moléculas y como podía explicarse no sólo en términos de combinación como lo proponía Dalton (Alarcón, Aponte, Sánchez, & Garay, 2013), sino en función de interacciones electrostáticas y electromagnéticas desde una perspectiva física, que conllevó al diseño de distintos proyectos como el rayo de tubos catódicos o el experimento de la gota de aceite de Millikan [1913] (Urbina S. , Gallego, Pérez, & Gallego, 2008).

Los modelos realizados buscaron predecir y explicar los resultados obtenidos tanto en el tubo de rayos catódicos como en la gota de aceite y en otro tipo de experimentos como el de la dispersión de partículas alfa, realizados por Geiger y Marsden en 1909 y 1913. De estas intervenciones surgen los distintos modelos para explicar la estructura interna del átomo, dando cuenta a su vez de algunos argumentos a favor de su discontinuidad, como el modelo de Thompson postulado en 1904, el modelo nuclear de Rutherford propuesto a partir del análisis matemático del experimento sobre la dispersión de partículas α en 1911 y el modelo semi-cuántico de Bohr presentado en 1913, que sustituiría al modelo del átomo inmediatamente anterior (Cuellar-Fernández, Gallego-Badillo, & Pérez-Miranda, 2008; Urbina S. , Gallego, Pérez, & Gallego, 2008).

Sir William Ramsay y Johannes Stark en 1908, por distintas sendas llegaron a las mismas inferencias, afirmando que entre los átomos hay lazos de unión y que los electrones de valencia son los responsables de la atracción de las partes positivas de dos unidades atómicas (Imagen 2) (Urbina S. , Gallego, Pérez, & Gallego, 2008), representándolo de la siguiente forma

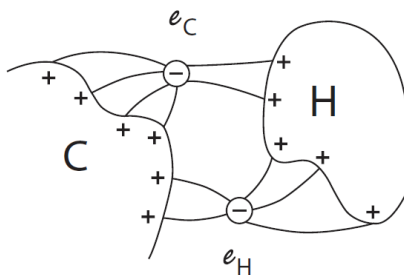


Imagen 2. Representación gráfica de un enlace carbono – hidrógeno, propuesto por Stark (1908). Imagen tomada de Urbina, Gallego, Pérez, & Gallego (2008).

Pero este modelo no tuvo relevancia en las discusiones que se llevaban a cabo en cuanto a la naturaleza de las uniones químicas entre dos unidades mínimas de combinación y se optó por el modelo propuesto por Bohr en 1913 para la explicación a nivel energético [o electrónico] de los sistemas moleculares (Urbina-Duarte, 2007). Bohr propuso algunos modelos simbólicos para representar dichas interacciones y supuso la unión de dos núcleos por medio de un anillo de dos electrones, al que consideró el enlace químico formado entre los átomos; una representación que permite la explicación de este postulado se presenta en la [Imagen 3].

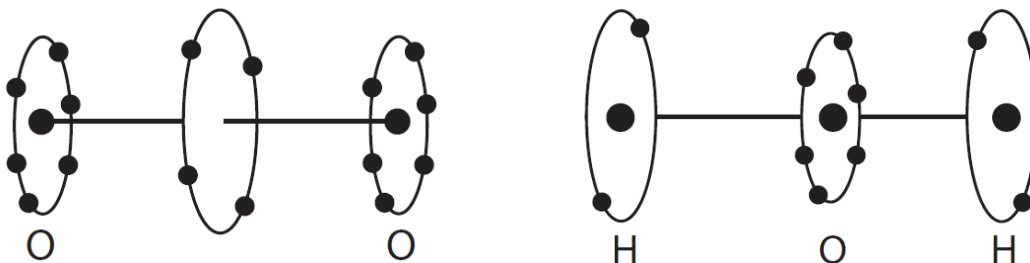


Imagen 3. Representación gráfica de las moléculas de O_2 y H_2O , propuesto por Bohr (1913). Imagen tomada de Urbina, Gallego, Pérez, & Gallego, 2008.

3.4.3. *El compartimiento electrónico: Los modelos de Kossel y Lewis*

Muchos eventos relevantes sucedieron a lo largo de las primeras dos décadas del siglo XX. La publicación del artículo de Einstein sobre el efecto fotoeléctrico (1905) o los modelos de Thomson (1904), Rutherford (1911) y Bohr (1913) para la explicación de la estructura atómica, fueron algunos de los elementos más relevantes que permitieron avanzar en la comprensión de la estructura de la materia a nivel energético (Jensen, 1998).

En 1916 presentarían Walter Kossel (1888 -1956) y Gilbert Lewis (1875–1946) la explicación sobre la naturaleza del enlace químico y como los átomos se

disponían para la formación de moléculas. En un primer plano, Kossel relacionó las formulaciones teóricas sobre la valencia presentadas en 1904 por Abegg y a partir de estas estableció que la propiedad de la valencia de cada elemento dependía de los electrones que se encuentran en la capa externa del átomo y de las interacciones que tienen cuando interactúa con otro. Por tanto, es a partir de dichas relaciones donde se establecen condiciones por medio de las cuales un átomo cede o acepta electrones e intercambia cargas entre sí, determinando así el comportamiento químico del átomo (Kossel, 1916).

Pero no sólo los trabajos de Abegg repercutirían en la construcción de argumentos sobre el papel de los átomos en la formación de moléculas propuesta por Kossel, sino también los del físico A. van Den Broek, a través de los cuales estableció que cada elemento sucesivo tendría un electrón más y una carga positiva más que su predecesor (Kossel, 1916). Así mismo, estableció que el cambio periódico en la valencia se fundamenta en el hecho que al pasar de un elemento de menor peso atómico a otro de mayor peso, la configuración electrónica cambia uniformemente (Urbina S. , Gallego, Pérez, & Gallego, 2008). El nuevo modelo iónico propuesto por Kossel, donde la interacción entre dos entidades atómicas se debe a una transferencia de electrones y la formación de entidades atómicas con cargas eléctricas positivas y negativas, permitió la construcción de un diagrama donde se representa los estados positivos y negativos de los estados de oxidación para los primeros 57 elementos [Imagen 4], acudiendo a cálculos sencillos sobre la Ley de Coulomb y la modelización del enlace desde los presupuestos formulados por el modelo de Bohr (Herreño, Gallego, & Pérez, 2010; Jensen, 1984; Kossel, 1916).

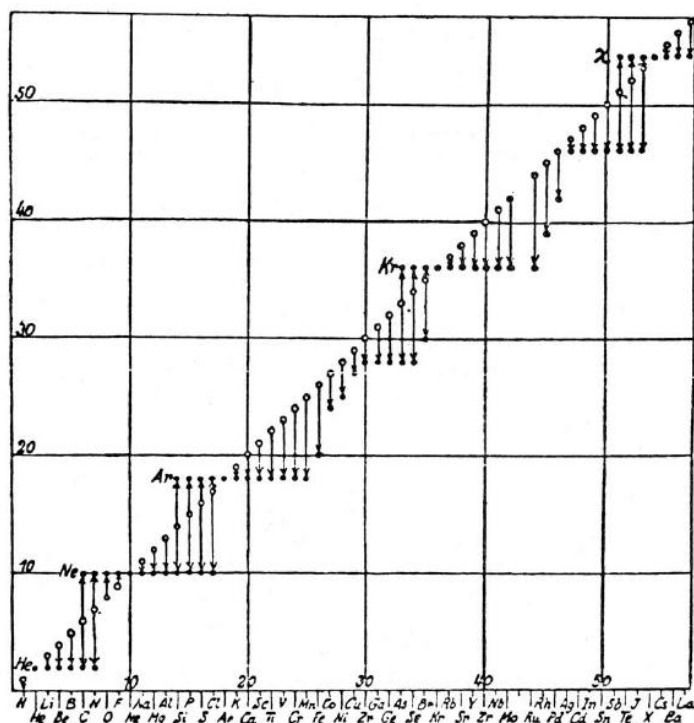


Imagen 4. Diagrama que representa los estados de oxidación para los primeros 57 elementos, propuesto por Kossel (1916). Imagen tomada de Jensen (1984).

Un aspecto importante que debe resaltarse en este punto es el énfasis que hace en la naturaleza de los elementos cuando se encuentran como sustancias simples o básicas, en términos de Paneth (2003). Kossel en este sentido habla que los elementos neutros cambian su naturaleza cuando entran en combinación, satisfaciendo sus tendencias características. De este modo, cuando la entidad compuesta entra en separación de sus componentes por métodos electrolíticos o por agitación térmica, el sistema se separa en sus respectivos iones y no en sus átomos neutros. Que el comportamiento de un ión no sea el mismo de un átomo neutro, se debe al cambio en el carácter químico de la entidad elemental, generada como consecuencia de la transformación de sus propiedades.

Así, los elementos neutros “renuncian” a su reactividad al enlazarse con otro elemento, debido a la transferencia electrónica entre los átomos constituyentes que conlleva a la formación de entidades iónicas con diferente carga, que conllevan la formación de enlaces de tipo mono-valente y polar. Cabe resaltar que la polaridad en este ámbito se refiere al proceso de formación de iones por medio de la relación entre los “electrones de valencia” de los átomos que participan en el enlace y la necesidad de estas entidades elementales de buscar en el sistema en

que interactúan su estabilidad electrónica, es decir, los ocho electrones en su última coraza (Kossel, 1916).

De forma casi paralela a los estudios realizados por Kossel, G. N. Lewis presentó un nuevo modelo cúbico del átomo ampliamente criticado por los físicos y químicos de la época, quienes consideraron poco útil su divulgación científica, debido a la inconsistencia con el presupuesto de considerar los electrones estáticos; no obstante, se ha concluido que este modelo fue propuesto por Lewis con intenciones plenamente didácticas (Herreño, Gallego, & Pérez, 2010; Urbina S. , Gallego, Pérez, & Gallego, 2008). Pero más allá de su finalidad, su publicación marcaría un nuevo rumbo hacia la comprensión de la naturaleza del enlace químico y su papel en la formación de moléculas. La idea de transferencia de electrones tampoco sería totalmente abandonada por Lewis, ya que asume la existencia de un estado transicional y gradual entre el compartimiento de electrones y la transferencia electrónica dentro de una determinada especie química, con lo que llevó a explicar la diferencia de polaridad entre los compuestos iónicos y covalentes, siendo estos últimos estudiados con base en las moléculas orgánicas [Imagen 5] (Lewis, 1916).

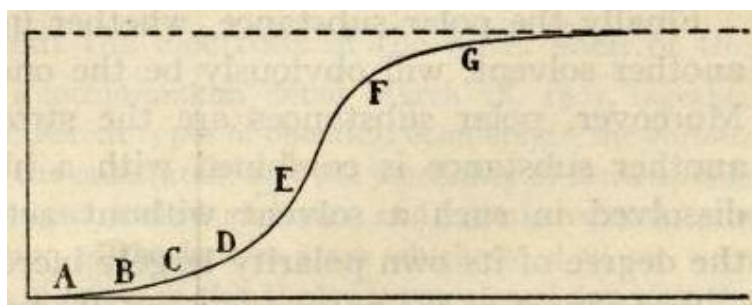


Imagen 5. Gráfica que representa la relación del crecimiento en la polaridad (eje Y) respecto de la fuerza del enlace polar (eje X) para distintos compuestos como hexano (A), benceno (B), éter (C) y compuestos con comportamientos semejantes que podían ubicarse de acuerdo al criterio de polaridad en un punto específico como el caso del agua, amoníaco, alcoholes, aminas y ácidos (D). Tomado de Lewis (1916).

El criterio sobre el cual Lewis construyó su modelo de átomo cúbico fue el de la polaridad de las moléculas; Este argumento lo llevó a realizar serias consideraciones acerca de la naturaleza propia de las moléculas y los sistemas químicos, basándose en el hecho de que las moléculas podían presentar partes polares y no polares que permitían definir su naturaleza y comportamiento en relación con otras especies químicas y que el entorno que rodea a una molécula [definido éste como la interacción de la molécula con otras que permiten sus procesos de disolución], afectaba la polaridad de la misma.

De este modo, propuso una explicación acerca de cómo una sustancia podía presentar mayor polaridad en cuanto interactuaba con especies químicas que permitían alterar dicha propiedad de la molécula individual. En términos de la Figura 17, Lewis asumió que el ambiente donde interactúa la especie molecular puede pasar del punto A al B por efecto de sus relaciones moleculares con las entidades que lo rodean (Lewis, 1916).

Pero el criterio de la polaridad fue una consecuencia que macroscópicamente se evidenció en los procesos experimentales vistos por Lewis. No obstante, la importancia de su aporte se da en términos de la construcción de argumentos en función de explicar la naturaleza de las especies polares y no polares a nivel atómico y molecular, así como el establecimiento de diferencias en cuanto a su comportamiento químico. Para ello propone su modelo de átomo cúbico [Imagen 6], incompleto y deficiente para explicar el enlace de algunas especies complejas, sobre todo aquellas provenientes de la química orgánica (Gillespie & Robinson, 2006).

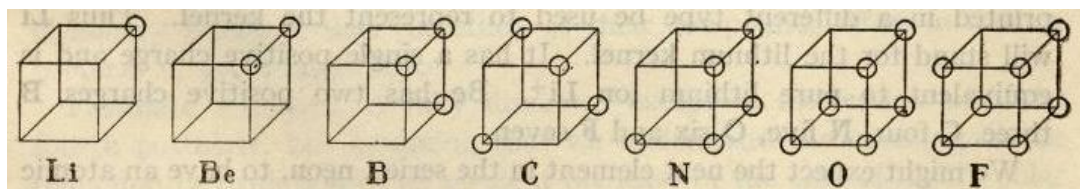


Imagen 6. Modelos del átomo propuestos por Lewis para algunos elementos que serían base para la explicación de sus postulados. Tomado de Lewis (1916).

A partir de estas representaciones estableció dos formulaciones de gran importancia para argumentar el por qué los átomos se unen para formar moléculas. Una de ellas fue el *kernel*, el cual se consideró como la parte del átomo que no se alteraba en los cambios químicos y que poseía un exceso de cargas positivas. Además, también propuso el “átomo exterior” [o como aparece en el texto original “*outer atom*” ó “*shell*”], que contiene la misma cantidad de electrones que cargas positivas presenta el *kernel*, siendo este número de electrones menor o igual a ocho, sin importar que cambie químicamente y ocupando las esquinas del modelo cúbico. Una forma de representarlo la hizo en términos de símbolos, pero adecuando como superíndice la carga negativa que indicaría la mayor o menor diferencia de carga entre el núcleo y los ocho electrones que debería tener el átomo para adquirir su estabilidad. Así, podía considerarse una representación apropiada del flúor como F^- , del oxígeno como O^{-2} o del nitrógeno como N^{-3} , por

mencionar algunos ejemplos (Urbina S. , Gallego, Pérez, & Gallego, 2008; Lewis, 1916).

Sin embargo, esta estructura cúbica de enlace no permitía determinar quien presentaba las cargas positiva y negativa dentro de una determinada molécula, lo que obstaculizaba el estudio de su comportamiento en términos de polaridad. Si bien para una molécula como el Cl_2 , una de las entidades atómicas adquiere carga positiva y la otra carga negativa de manera indistinta, para el caso de otros compuestos como el CaCl_2 , el HCl o el BrCl , la disparidad o no – simetría de las cargas debía representarse para saber la carga de los átomos implicados en la formación de la molécula.

Para responder a este presupuesto, Lewis propone el uso de dos puntos arreglados para representar los dos electrones que actúan como conectores entre dos átomos (Lewis, 1916). De este modo planteó algunas estructuras, acudiendo al *kernel* y *shell* característico de cada átomo y con base en estas formulaciones postuló algunas estructuras como las que se presentan en la Imagen 7.



Imagen 7. Estructuras de puntos de Lewis para el Cl_2 , el HCl y el CaCl_2 . En la primera existe simetría entre los átomos de Cl , en las otras moléculas se encuentran las cargas ligeramente inclinadas hacia el halógeno, dándole polaridad a la molécula.

Estas estructuras de puntos son limitadas pues únicamente mostraban un solo enlace generado como consecuencia del compartimiento de un par electrónico y únicamente presentaban una de las múltiples formas tautoméricas que podían tener las especies químicas. Para otro tipo de entidades como el amoníaco y el ión amonio, Lewis propone que la formación de este último se hace por la adición simple de un átomo de hidrógeno a la estructura del amoníaco, generando una molécula con 9 cargas positivas en el *kernel* y 8 electrones en el *Shell*, lo que conlleva a que la carga del ión sea igual que la de un metal alcalino, +1 (Lewis, 1916).

Otro punto de similar importancia dentro del trabajo de Lewis se refirió a la naturaleza del doble enlace formado en la molécula de O_2 y la relación que presenta con la naturaleza de los compuestos orgánicos insaturados [alquenos]. Cabe resaltar que una de las características propias del doble enlace se encuentra

sujeta a la ruptura que puede presentar, lo que genera la formación de un estado impar de la molécula formada por átomos cuyos electrones son impares, como se muestra en la estructura B. Sin embargo, las dos formas tautoméricas del oxígeno se encuentran en completo equilibrio, así como lo estaría la molécula de I_2 (Lewis, 1916).

Algunos límites que presentaba el modelo para la explicación de la estructura molecular de algunas especies, específicamente aquellas provenientes de la química orgánica (Gillespie & Robinson, 2006), dado que para el carbono el modelo cúbico propuesto por Lewis empezaba a tener modificaciones que más adelante conducirían a que entrara en desuso. Sin embargo, muchas estructuras orgánicas que comprendían enlaces sencillos y dobles pudieron ser explicadas con este modelo, salvo las estructuras insaturadas con enlace triple que no lograron ajustarse al mismo.

Si bien el modelo de Lewis sobre el átomo cúbico y el enlace empezaban a flaquear en la búsqueda de explicaciones frente a la naturaleza de las especies químicas, no fue abandonado en ningún momento; por el contrario, se reformularía a partir de los trabajos de I. Langmuir en 1919, proponiendo un nuevo modelo para el átomo cúbico presentado por Lewis, que no sólo se aplicara para el estudio de los átomos de las regiones s y p de la tabla periódica, sino que también se usara para los elementos del bloque d, donde el modelo de Lewis no era suficiente-mente útil para representarlos [Imagen 8] (Jensen, 1984).

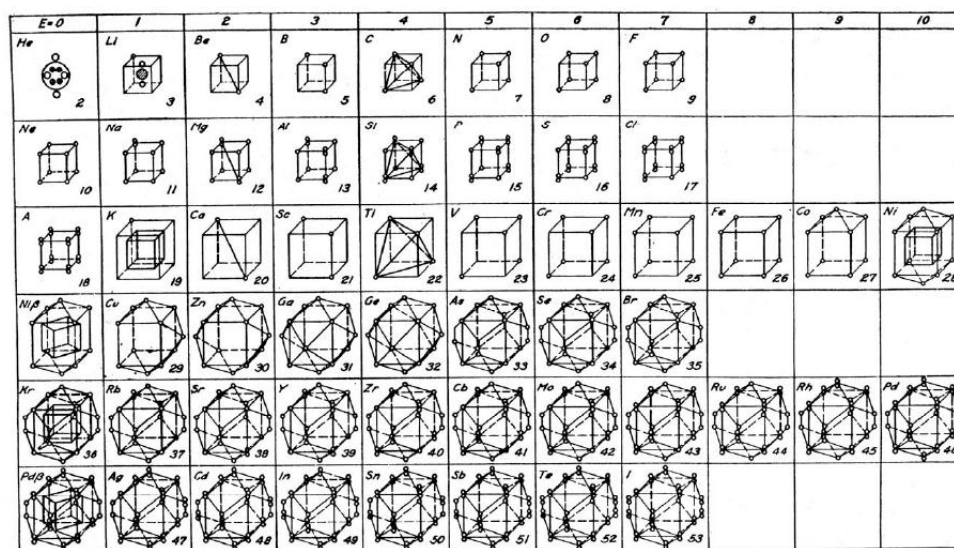


Imagen 8. Estructura de los átomos propuesta por Langmuir, a partir de la modificación del modelo propuesto por Lewis. Tomado de Jensen (1984).

Langmuir explica la estructura de los átomos partiendo de algunos postulados, entre los cuales se encuentran que los electrones pueden encontrarse estáticos o rotando alrededor de posiciones definidas en el átomo y que el contenido máximo de cada una de sus capas presentaba una relación de 2, 8, 18 y 32 electrones en un orden consecutivo. Una nueva capa no podía ser llenada si las precedentes no se habían copado completamente (Herreño, Gallego, & Pérez, 2010; Jensen, 1984; Langmuir, 1919).

Pero no sólo la estructura atómica se explicó y se predijo en los postulados de Langmuir, sino que también se propusieron algunas formulaciones en torno a la reactividad química, la estructura molecular y las propiedades de los compuestos bajo la idea de que el enlace generado por el compartimiento de electrones es un enlace de tipo covalente, mientras que aquel en el cual prima la transferencia electrónica es electrovalente (Urbina S. , Gallego, Pérez, & Gallego, 2008; Gillespie & Robinson, 2006). Pese a la clasificación del enlace, establece que hay una característica común entre ellos y es que en ambos tipos de uniones prevalece la “regla del octeto”, la cual se rigen bajo las siguientes premisas:

1. Los arreglos de electrones en los gases nobles son simétricos y estables, presentando fuerzas internas de atracción de gran magnitud y débiles fuerzas externas de repulsión. A medida que aumenta el número atómico, disminuye proporcionalmente los campos de fuerzas externas (Urbina S. , Gallego, Pérez, & Gallego, 2008; Langmuir, 1919).
2. El arreglo más estable del par de electrones es el presentado para el átomo de helio, que presenta dos electrones en su capa externa. También puede ser estable para dos núcleos de hidrógeno, o un núcleo de hidrógeno con un núcleo de otro átomo o en raras veces dos núcleos atómicos (Herreño, Gallego, & Pérez, 2010; Langmuir, 1919).
3. La configuración subsecuente más estable de electrones es la del octeto, que corresponde a una capa conformada por ocho electrones, como el que constituye la segunda capa del átomo de neón. Cualquier otro átomo con número atómico menor de 20 y que presente más de tres electrones en su capa externa, tenderá a ganar el número adecuado de electrones para alcanzar el octeto (Langmuir, 1919).
4. Dos octetos pueden contener uno, dos y hasta tres pares de electrones en común, así como puede compartir desde uno hasta cuatro pares de electrones con uno hasta cuatro octetos (Langmuir, 1919).

A partir de estos postulados, Langmuir construye su “teoría del octeto”, donde todos los átomos en un compuesto procurarán arreglarse de tal modo que adquieran una configuración estable; así, para elementos que presenten un número atómico mayor a 5, su estabilidad se basará en la conformación del octeto. A partir del número total de electrones de valencia, dos átomos A y B pueden formar tres configuraciones posibles teniendo en cuenta el cuarto postulado presentado anteriormente (Urbina S. , Gallego, Pérez, & Gallego, 2008). De esta forma se tiene que para formar el enlace:

- a. Se necesita que el número total de los electrones de valencia sean dos menos que los octetos aislados.
- b. Se busca que el número total de electrones sean cuatro menos que en dos octetos.
- c. Se requiere que el total de los electrones en la interacción sean seis menos que en los dos octetos.

Puede afirmarse que con la matematización de lo que Lewis llamaría la “regla del ocho” y la consolidación de la regla del octeto por parte de Langmuir, muchas fueron las estructuras que pudieron realizarse para compuestos que no estaban

conformados por dos átomos únicamente, como el caso de los óxidos del nitrógeno (N_2O , N_2O_3 , N_2O_4 y N_2O_5) o el CO_2 , en donde el último compuesto presentaba una deformación de los cubos, debido a la cercanía de los pares de electrones compartidos [Imagen 9] (Urbina S. , Gallego, Pérez, & Gallego, 2008; Jensen W. , 1984)

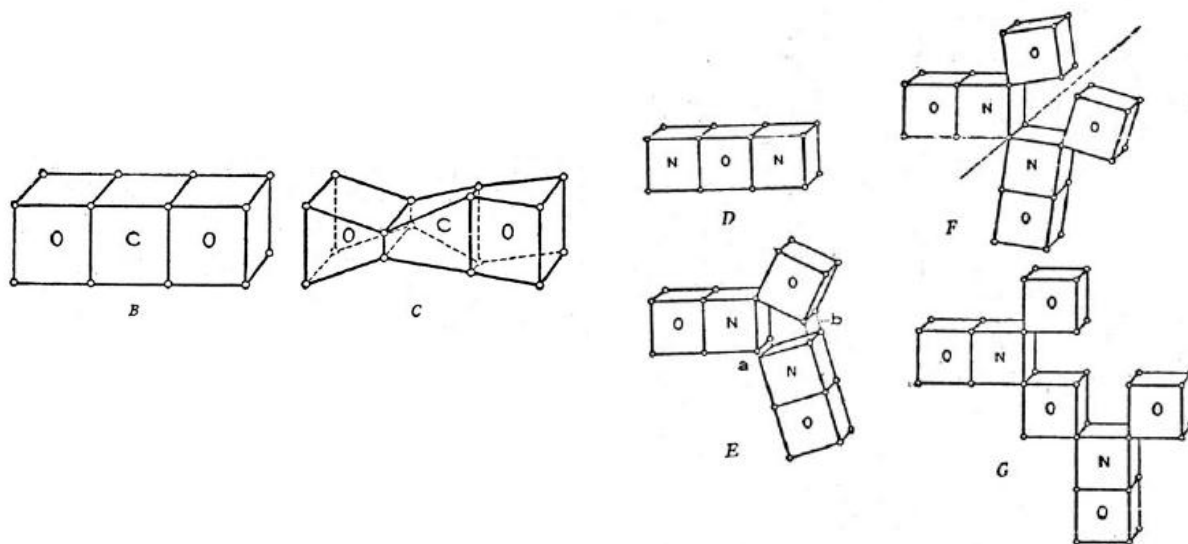


Imagen 9. Estructura del CO_2 (Figuras B y C) y de los óxidos de nitrógeno N_2O (Figura D), N_2O_3 (Figura E), N_2O_4 (Figura F) y N_2O_5 (Figura G), a partir de los presupuestos establecidos por Langmuir desde su “teoría” del octeto. Tomado de Jensen (1984).

El modelo de enlace en Langmuir soportó sus postulados en las propuestas formuladas años atrás por Lewis y Kossel, tomando como referente la estructura atómica del modelo de Rutherford. Pero este aporte tendría su mayor connotación en el texto “Principles of Chemistry” publicado en 1919 por J. Hildebrand., el cual reconocería el aporte de Langmuir, llevando a que el modelo cúbico del átomo y la naturaleza del enlace consolidada a partir de esta representación fuera conocida como como “Modelo de Lewis – Langmuir” (Herreño, Gallego, & Pérez, 2010; Gillespie & Robinson, 2006).

Sin embargo, algunas diferencias marcadas se presentan entre las formulaciones de Lewis y las de Langmuir en términos de la regla del octeto, dónde éste último, buscando dar rigurosidad a su modelo, genera relaciones matemáticas y simbólicas semejantes a los modelos planteados por los físicos; por su parte, Lewis se basa en los fenómenos químicos que se evidenciaban macroscópicamente en los procesos experimentales para la construcción de sus

explicaciones en torno a la naturaleza del enlace y su “regla del ocho” (Herreño, Gallego, & Pérez, 2010).

De este modo puede decirse que el enlace químico visto por Lewis se construye en torno al átomo químico proveniente de Mendeleiev, mientras que este concepto en Langmuir se basa en un átomo físico que de a poco va adquiriendo una connotación más individual que relacional de los elementos químicos (Harris, 2008). Pese a ello, el modelo geométrico de cubos propuesto por Lewis en concomitancia con el modelo del octeto de Langmuir siguen siendo en gran medida utilizados para predecir y explicar las descripciones electrónicas y estructurales de las moléculas. Es claro que el éxito de estos postulados dependió en gran medida de su fundamentación en las evidencias empíricas generadas por los procesos de experimentación química, sin importar que el octeto hasta ese momento estuviera matematizado (Urbina S. , Gallego, Pérez, & Gallego, 2008).

3.4.4. Aportes de Linus Pauling

Pauling se convirtió en el primer científico en unir la química con la física matemática, aportando a la Teoría de Enlace de Valencia (TEV) con la unión de los postulados sobre pares electrónicos propuestos por Lewis con las formulaciones de Heitler y London frente al intercambio electrónico. Además, expresaría estas relaciones en términos de la resonancia, fundamentales para la comprensión del comportamiento y la naturaleza de los compuestos orgánicos insaturados [específicamente los aromáticos] (Vemulapalli, 2008; Pauling & Wheland, 1933)

Con los aportes de Pauling, la TEV fue [hasta comienzos de los años 60] la vía para interpretar la estructura molecular y la naturaleza del enlace de forma más adecuada, ya que relacionó la mecánica cuántica de moléculas con la teoría estructural clásica que Lewis había construido para los compuestos, especialmente para los orgánicos; en cambio, la Teoría del Orbital Molecular (TOM) postulado por Mulliken y otros, el cual tenía un fundamento basado en aproximaciones mecánico cuánticas únicamente, no fue preferente para la construcción de formulaciones teóricas propias de la química (Needham, 2014).

4. METODOLOGÍA

El paradigma metodológico sobre el cual se soporta esta investigación es de orden cualitativo, longitudinal en el tiempo, el cual se fundamenta en la construcción de significados desde la interacción entre sujetos (Moreira, 2002) que en este caso, específicamente, se desarrollan en torno al concepto estructural del enlace químico. A partir del paradigma establecido anteriormente, se realiza el diseño y la metodología más adecuada para esta investigación, las cuales serán expuestas a continuación:

4.1. Contexto

El estudio se lleva a cabo con 15 estudiantes de grado decimo de la institución educativa Julio Cesar Sánchez, del municipio de Anapoima, en edades entre 15 y 17 años. Una breve descripción de la población escogida se presenta en la tabla 1

No	Codificación Estudiante	Género	Edad	Grado
1	JSM	M	16	1001
2	JIM	M	15	1001
3	EZR	F	15	1001
4	KBP	F	15	1003
5	NCA	F	15	1003
6	SAQ	M	16	1003
7	FEC	M	17	1003
8	JED	F	16	1003
9	CAP	F	15	1003
10	DFV	M	15	1001
11	PAP	F	15	1001
12	CEP	M	17	1001
13	YUR	F	16	1003
14	ALA	F	15	1003
15	KEB	M	16	1003

Tabla 1 Datos de estudiantes (Población estudiada)

4.2. Diseño

El diseño de la investigación sobre el cual se lleva a cabo este proyecto es el de investigación – acción, definido como una forma de investigación colectiva y auto-reflexiva que pretende un cambio (Kemmis, 2007; Moreira, 2002). El aporte más relevante de este tipo de investigación refiere al proceso auto-reflexivo que realizan los estudiantes frente a la construcción de significados frente al concepto de enlace químico, acercándose a los presupuestos teóricos sobre la construcción y transformación de significados y sentidos de manera colectiva propuesto por

Vigotsky y Bruner (Arcila, Mendoza, Jaramillo, & Cañon, 2010). El papel del investigador que a su vez es el docente de aula, es el de promover y crear el ambiente propicio para que se dé este tipo de reflexiones.

La investigación se realizará en 5 fases:

Fase 1: Indagación de las ideas iniciales de los estudiantes.

Para lograr establecer cuál es el significado inicial que le atribuye los estudiantes al enlace químico, se elaboran una serie de actividades que permiten recopilar la información. (Instrumento 1).

Fase 2: Diseño y desarrollo de actividades para la enseñanza de la química con énfasis en modelos y modelaje científico sobre enlace químico. (Boyle, 1985). (Instrumento 2 y 3)

Fase 3: Desarrollo: Clases de Orientación. (Instrumento 4)

Fase 4: Análisis de las formas de significar frente al enlace químico después de la construcción de un MDA para el enlace químico. Aplicación de 1 instrumento escrito.(Instrumento 5)

Fase 5: Divulgación.

4.3. Técnicas de recopilación de datos

- A partir de una observación participativa, como estrategia para lograr comprender e interpretar las diferentes situaciones.
- Utilización de cuestionarios e instrumentos diseñados para determinar las formas de significar frente al enlace químico y la constitución íntima de las especies químicas, teniendo en cuenta la selectividad y la reactividad de las mismas (Preguntas abiertas)
- Registro fotográfico del material escrito elaborado por los estudiantes.

Las técnicas de recolección de información que se utiliza para el desarrollo de esta investigación son cinco instrumentos, denominados respectivamente: 1) Instrumento de revisión de ideas iniciales frente al enlace químico. 2) Introducción al proceso de Modelación (La caja negra) 3) Instrumento La modelación en la ciencia. 4) Instrumento Las propiedades de las sustancias iónicas y covalentes. 5) Instrumento Estructura conceptual del enlace Químico. Una descripción de la

estructura y relación de los instrumentos con los objetivos planteados en este trabajo se presenta en la tabla 2.

Instrumento	Intencionalidad	Estructura	Objetivo
Revisión de las ideas iniciales frente al enlace químico.	Este instrumento pretende revisar las ideas iniciales de los estudiantes frente al concepto de enlace químico, las cuales fueron construidas durante el transcurso de su formación académica (clases de pre-química en años anteriores)	Se elaboran 5 preguntas que refieren a las concepciones que tienen los estudiantes de grado decimo, sobre el enlace químico, el enlace iónico y covalente. También se tienen en cuenta conceptos que se relacionan con el enlace químico, el enlace iónico y covalente para que sean representados de manera simbólica.	Identificar formas de significar inicial que presentan los estudiantes de grado decimo frente al concepto de enlace químico.
Introducción al proceso de Modelación (La caja negra)	Este instrumento pretende acercar al estudiante frente a la relación que guarda los modelos y la realidad.	Se presentan cuatro preguntas, que busca dar respuesta a una actividad, en la cual el estudiante debe intentar determinar qué objetos con sus posibles características, se encuentran en una caja sellada.	Permitir que los estudiantes relacionen la función que tienen los modelos y sus limitaciones, con la explicación de la "realidad".
La modelación en la ciencia.	El instrumento busca que el estudiante, luego de una serie de lecturas y de explicación frente a la modelación en la ciencia, diferencie la función de los modelos, la clasificación de estos y las etapas del	Se presentan 7 preguntas enfocadas a que se dé respuesta a los conceptos de analogía, los modelos y su clasificación (Chamizo,) y la modelación.	Acercar al estudiante a la función de la modelación en la ciencia en la explicación de diferentes conceptos científicos.

	modelaje en la ciencia.		
Instrumento Las propiedades de las sustancias iónicas y covalentes.	A partir de una actividad empírica, los estudiantes deben dar respuesta a como es el comportamiento y las propiedades físicas y materiales que presentan las sustancias iónicas y covalentes.	Se elaboran 5 preguntas que buscan dar respuesta frente a las propiedades como: características físicas, forma de cristales, solubilidad en agua, conductividad eléctrica y puntos de fusión de sustancias iónicas y covalentes.	Permitir que el estudiante identifique las propiedades a nivel macroscópico: (apariencia, solubilidad, conductividad eléctrica) que determina la clasificación de las sustancias iónicas y covalentes en el plano microscópico.
Instrumento Estructura conceptual del enlace Químico	Luego de la construcción de un MDA, para el concepto de enlace químico, este instrumento busca determinar las formas de significar que presentan los estudiantes, frente al concepto de enlace químico con sus nuevas concepciones.	Se elaboran 8 preguntas que refieren a las formas de significar que tienen los estudiantes de grado décimo, sobre el enlace químico, el enlace iónico y covalente, luego de haber pasado por el proceso de construcción de un MDA para el concepto de enlace químico.	Analizar los cambios presentados en las formas de significar, luego de utilizar como estrategia un MDA frente al concepto de enlace químico.

Tabla 2. Estructura general e intencionalidad de los instrumentos aplicados.

A continuación se presenta el cronograma en semanas que se necesita para el desarrollo de la investigación, el cual incluye cada una de las etapas con su respectiva duración en semanas desde el mes de mayo hasta el mes de octubre de 2016.

ETAPA	Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre
	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2	3-4	1-2
Preliminar	■								
Selección		■							
Aplicación		■							
Análisis y reflexión				■					
Divulgación							■	■	■

Tabla 3. Cronograma proceso de la investigación

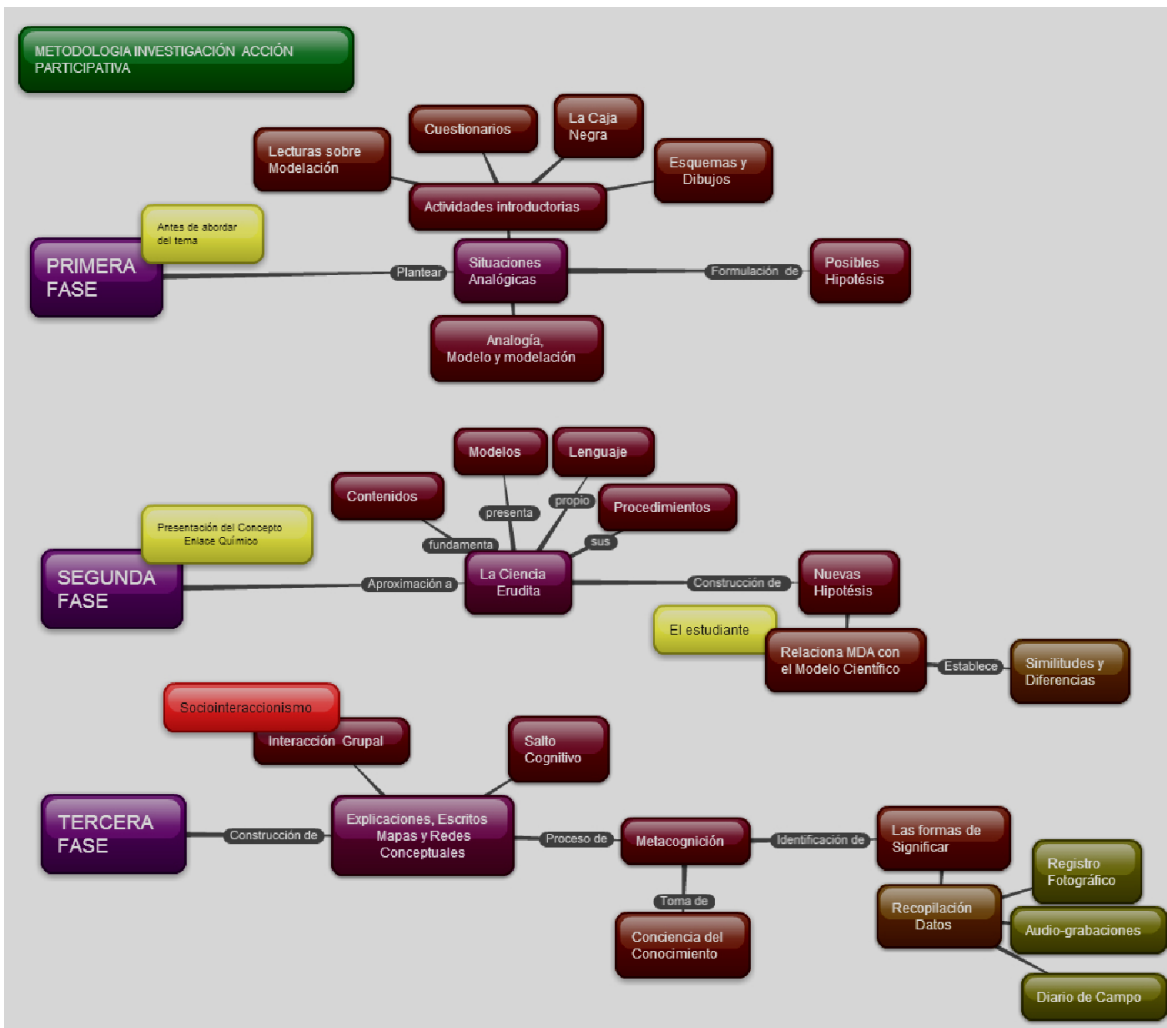


Figura 3 Fases de Investigación

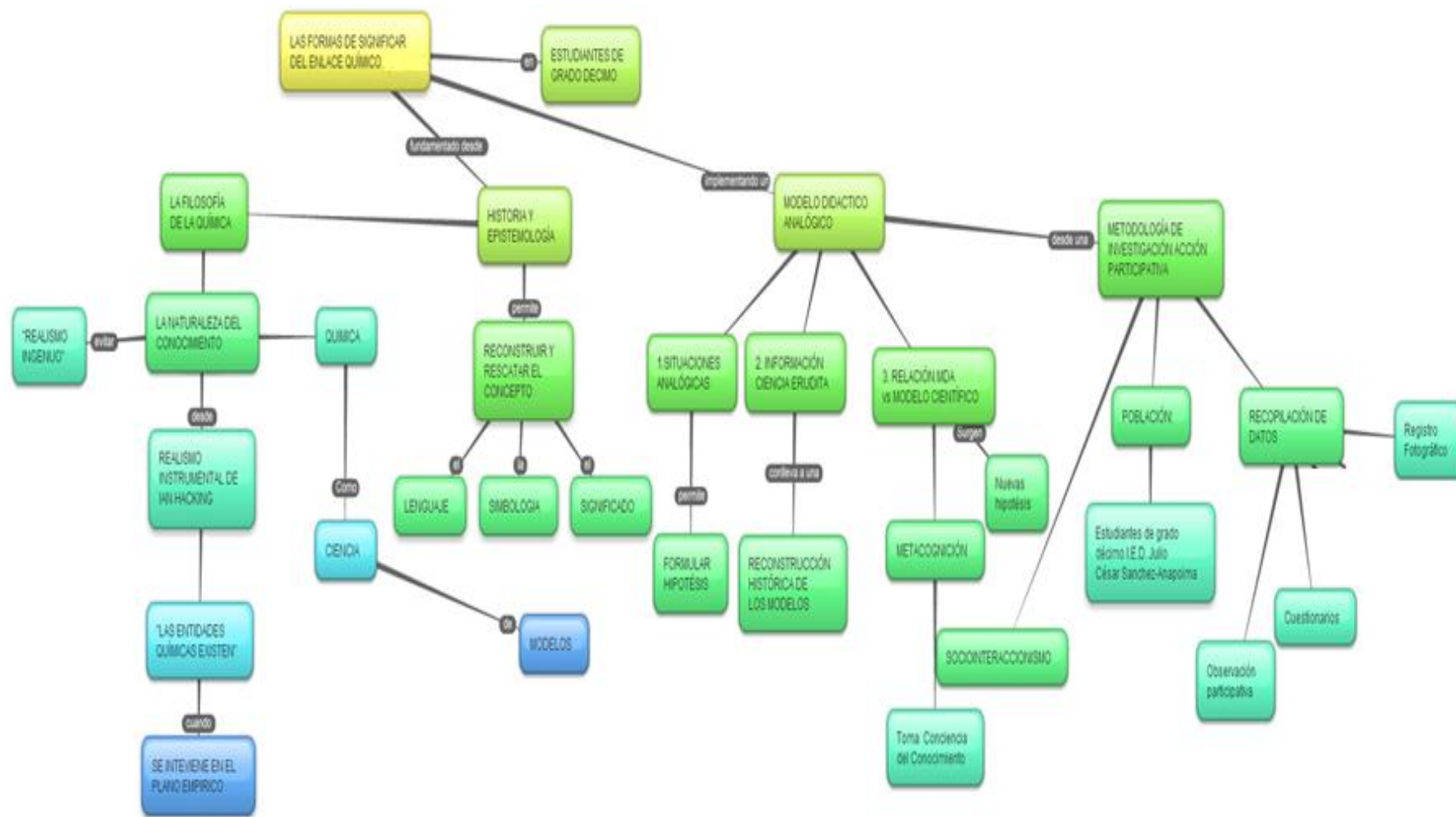


Figura 4 Mapa conceptual que resume la metodología de investigación, los fundamentos teóricos y conceptuales que se tuvieron en cuenta, para la construcción y el desarrollo de la misma.

5. RESULTADOS

Luego de aplicar los instrumentos de Revisión de ideas iniciales frente al enlace químico, Introducción al proceso de Modelación (La caja negra), La modelación en la ciencia, Las propiedades de las sustancias iónicas y covalentes y Estructura conceptual del enlace Químico; Se recoge una serie de tendencias que permite realizar la posterior discusión y reflexión sobre las formas de significar que presentan los estudiantes de grado decimo, al construir un Modelo Didáctico Analógico para el concepto de enlace químico. Los resultados que se muestran a continuación obedecen el orden establecido de aplicación de los instrumentos dentro de la investigación.

5.1. Instrumento de Revisión de Ideas Iniciales frente al Enlace Químico.

Este instrumento se encuentra conformado por 5 preguntas abiertas con las cuales, se busca establecer las formas de significar que presentan los estudiantes de grado decimo frente al enlace químico, teniendo en cuenta que durante su trayecto académico han recibido algunas acercamientos al concepto, en clases de pre-química y otros, han hecho revisión de algunos textos escolares para acercarse al tema. Las categorías de análisis en cada pregunta se eligieron a partir de una categorización de las respuestas donde, dada la estructura abierta del cuestionario, se establecen respuestas que proyectan una tendencia común; esta propuesta de presentación de resultados fue utilizada en otros trabajos de similar naturaleza (García-Franco & Garritz, 2006; De-Posada, 1999). A partir de estos presupuestos se recogen los datos que se exponen en seguida:

Pregunta 1: Desde su conocimiento en química ¿Qué significado tiene para usted el enlace Químico?

No	Significado	Cantidad	Porcentaje
1	Unión de los átomos para formar moléculas.	8	53,33%
2	Fuerza que permiten que los átomos se unan	2	13,33%
3	No tiene clara una definición.	5	33,33%

Tabla 4. Tendencias que presentan los estudiantes, frente al significado del enlace químico

Pregunta 2: Desde su conocimiento en química ¿Qué significado tiene para usted el enlace iónico?

No	Significado	Cantidad	Porcentaje
1	Tendencia de los átomos de ganar y ceder electrones, para cumplir con la regla del octeto.	10	66,66%
2	Cuando la diferencia de electronegatividad es mayor de 1,7	4	26,66%
3	Se da entre los elementos del grupo VIIA y IA	1	6,66%

Tabla 5. Tendencias que presentan los estudiantes, frente al significado del enlace iónico.

Pregunta 3: Desde su conocimiento en química ¿Qué significado tiene para usted el enlace covalente?

No	Significado	Cantidad	Porcentaje
1	Tendencia de los átomos a compartir electrones, para cumplir con la regla del octeto.	9	60%
2	Cuando la diferencia de electronegatividad es menor de 1,7	4	26,66%
3	No tiene una respuesta clara	2	13,33%

Tabla 6. Tendencias que presentan los estudiantes, frente al significado del enlace covalente.

Pregunta 4: ¿Qué otros conceptos consideras importantes para explicar la formación de los enlaces químicos?

En esta pregunta, de los 15 instrumentos analizados, se totalizaron 8 conceptos, teniendo en cuenta la cantidad de veces en el cual fueron mencionados, se determinó su porcentaje.

Concepto	Cantidad	Concepto	Cantidad
Regla del Octeto	11	Átomos	7
Electrones	10	Elemento	5
Electronegatividad	5	Compuesto	5
Valencia	6	iones	2

Tabla 7 Términos complementarios para explicar el concepto de enlace químico.

Pregunta 5: ¿Por qué son importantes estos conceptos, para explicar el enlace químico?

No	Significado	Cantidad	Porcentaje
1	Los átomos ganan o pierden electrones, lo que forman iones: cationes y aniones	2	6,89%
2	Cuando se conoce la diferencia de electronegatividad se puede clasificar el enlace	5	17,24%
3	Para que los átomos sean estables deben cumplir con la regla del octeto.	11	37,93%
4	Los electrones de valencia son los que permiten formar el enlace químico.	6	20,68%

5	Los elementos se unen para formar compuestos	5	17,24%
---	--	---	--------

Tabla 8 Argumentos que presentan los estudiantes, para justificar los anteriores conceptos en la explicación del enlace químico. La cantidad refiere el número de argumentos en común en los quince instrumentos.

5.2. Instrumento Introducción al proceso de Modelación (La caja negra)

Este instrumento presenta cuatro preguntas, que busca dar respuesta a una actividad, en la cual, el estudiante debe intentar determinar qué objetos con sus posibles características, se encuentran en una caja sellada, relacionando la función que tienen los modelos y sus limitaciones, con la explicación de la “realidad”. Este instrumento se aplica en grupos formados por 3 personas, por tanto se obtienen 5 instrumentos para analizar. En la caja encontramos los siguientes objetos: **4 monedas** con diferente denominación (\$500, \$200, \$100 y \$50), **Granos de arroz, 1 chupo plástico, 1 llave y 1 bom bom bum con su envoltura.**

Pregunta 1. Represente dibujando lo que hay en la caja.

En esta pregunta, de los 5 instrumentos analizados, se totalizaron 17 objetos posibles que se encontrarían en la caja. Teniendo en cuenta la cantidad de veces en el cual fueron mencionados, se determinó su porcentaje.

No	Objeto que se considera hay en la caja	Cantidad	Porcentaje
1	Llave	2	9,52%
2	Canica	1	4,76%
3	Clips	2	9,52%
4.	Aretes	1	4,76%
5	Collar	1	4,76%
6	Piedras	2	9,52%
7	Ganchos de cosedora	1	4,76%
8	Chinches	2	9,52%
9	Cascabel	1	4,76%
10	Tapa de Gaseosa	1	4,76%
11	Arena	1	4,76%
12	Pelota	1	4,76%
13	Ficha de Ajedrez	1	4,76%
14	Arroz	1	4,76%
15	Moneda	1	4,76%
16	Borrador	1	4,76%

17	Lápiz	1	4,76%
----	-------	---	-------

Tabla 9 Objetos que consideraron los estudiantes se encontraban dentro de la caja. La cantidad refiere el número de veces en común en los cinco instrumentos.

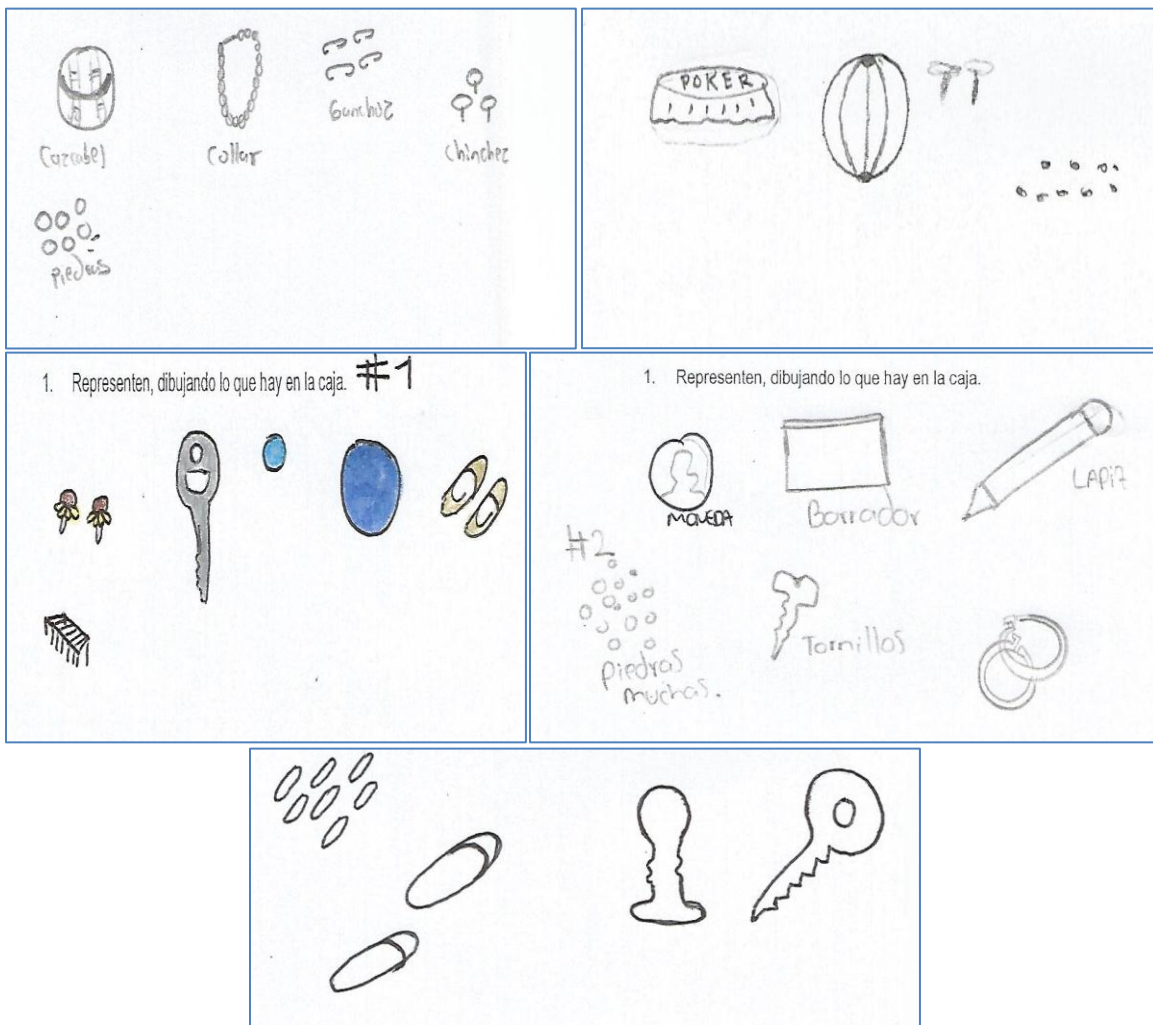



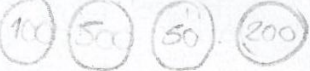

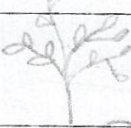



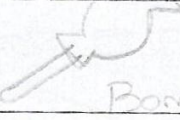
Imagen 10 Modelos materiales propuestos por los grupos de estudiantes, para explicar lo que se encontraba dentro de la caja.

Pregunta 2. Explique los motivos por los cuales dibujaron lo anterior.

No	Motivos	Cantidad	Porcentaje
1	Utilizamos nuestros sentidos y escuchamos el choque de los objetos.	4	57,14%
2	El peso aproximado de los objetos	2	28,57%
3	Conocimiento previo de algunos sonidos que son característicos de los objetos	1	14,28%

Tabla 10 Motivos que consideraron los estudiantes permitían identificar los objetos dentro de la caja. La cantidad refiere el número de veces en común en los cinco instrumentos.

Pregunta 3. Realiza una comparación del dibujo realizado (modelo) con lo que hay en la caja (realidad). Identifica las similitudes y diferencias que encuentra entre ellos.

MODELO	REALIDAD
 Moneda	
 Piedras	 Arroz
 Borrador	 Chupo
 Lápiz	 Bombón Bar


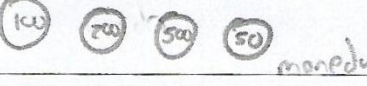
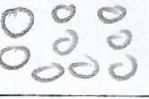







MODELO	REALIDAD
 cacerabel	 moneda
 piedras	 Arroz
 collar	 chupo
 sunchos	 llave
 chinchez	 bombón.

Imagen 11. Comparación entre los modelos materiales propuestos por los estudiantes y la “realidad” de los objetos que se encontraban en la caja.

Pregunta 4. ¿Cómo relaciona el ejercicio realizado en la caja, con las funciones y limitaciones que presenta un modelo?.

5.3. Instrumento La modelación en la ciencia y la ciencia escolar

Se presentan 7 preguntas enfocadas a que se dé respuesta a los conceptos de analogía, los modelos y su clasificación (Chamizo, 2010) y la modelación. ” Previamente, se realizó una revisión textual, sobre el concepto de la modelación, fundamentado en la lectura; “*Los modelos en la enseñanza de la ciencia*” . Este instrumento se aplica en grupos formados por 3 personas, por tanto se obtienen 5 instrumentos para analizar.

Pregunta 1. *¿Qué entiende por analogía? Ejemplifique:*

No	Significados	Cantidad	Porcentaje
1	Comparación de relación entre varias cosas	1	20 %
2	Analizar las cosas con respecto a otro objeto	1	20%
3	Objetos con función y posición parecida	1	20%
4	Contextualización de parte del mundo con propiedades similares a un modelo.	1	20%
5	No tiene una respuesta clara.	1	20%

Tabla 11 Significado que presentan los estudiantes a una analogía.

Pregunta 2. *Mencione y ejemplifique tres tipos de modelos (que no sean mencionados en el texto) que se relacionen con la química*

No	Ejemplos de modelos	Cantidad	Porcentaje
1	Modelo de Thompson (Pudín con pasas)	3	23,07%
2	Modelo de Rutherford	3	23,07%
3	Modelo de ADN	2	15,28%
4	Modelo de Dalton	1	7,69%
5	Modelo de Bohr	1	7,69%
6	Modelo Celular	1	7,69%
7	Modelo del cuerpo Humano	1	7,69%
8	Modelo del proceso de Mitosis y meiosis	1	7,69%

Tabla 12: Ejemplos de modelos dados por los estudiantes que se relacionan con la química.

Pregunta 3. *Con tus palabras, indica la razón por lo que se construyen los modelos.*

No	Significados	Cantidad	Porcentaje
1	Se construyen por la necesidad de explicar un	2	40%

	proceso y conocer su estructura		
2	Se construyen para acercarnos a parte de la realidad	1	20%
3	Se construyen para entender y darle una forma a lo que desconocemos.	1	20%
4	Se construyen para representar algo real, que no podemos ver pero que existe.	1	20%

Tabla 13 Significado que presentan los estudiantes frente al por qué se construyen los modelos.

Pregunta 4. *¿Cuál es el objetivo de los modelos Didácticos?*

No	Significados	Cantidad	Porcentaje
1	Simplificar por medio de dibujos generalmente, lo que es complejo de entender en la ciencia.	1	20%
2	Explicar el contexto científico de manera más fácil, sencilla y práctica.	2	40%
3	Comprender de forma más fácil y entretenido, más didáctico los diferentes temas.	1	20%
4	Una herramienta intelectual para abordar problemas de la educación	1	20%

Tabla 14 Significado que presentan los estudiantes frente a el objetivo de los modelos didácticos.

Pregunta 5. *Reflexiona con tus compañeros ¿Cómo modelamos las personas?*

No	Significados	Cantidad	Porcentaje
1	Saber lo que se va a explicar, crear un modelo mental, recolectar datos y plantear un modelo material o matemático	2	40%
2	Un modelo mental y luego se elabora un modelo	1	20%
3	De forma analógica, mental, material y matemática	1	20%
4	Encontrar un propósito, crear un prototipo que explique.	1	20%

Tabla 15 Significado que presentan los estudiantes frente a la proceso de modelación.

Pregunta 6. *Realiza un diagrama en donde sean evidentes los pasos ó etapas implicadas en este proceso.*

Grupo	Diagrama	
1		
2		<p>Analogía Mental</p> <p>Material Matemático</p>
3	<ul style="list-style-type: none"> - Observar - Imaginar - plantear - construcción de modelo material 	<ul style="list-style-type: none"> *Observar *Imaginar *Plantear *Construcción de un modelo material
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Encontrar una figura 2. Encontrar un propósito 3. Una motivación 4. Crear una figura inmutable 5. Crear tendencia. 6. Sacarlo a la vista de todos 7. Innovarlo o renovarlo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Encontrar una figura 2. Encontrar un propósito 3. Una motivación 4. Crear una figura inmutable 5. Crear una tendencia 6. Sacarlo a la vista de todos 7. Innovarlo o renovarlo
	<p>1) saber o investigar que es lo que hay en la caja</p> <p>2) Escuchar Imaginar y recolectar datos</p> <p>3) plasmar y crear un modelo</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Saber o investigar lo que se quiere explicar 2. Imaginar y recolectar datos 3. Plasmar y crear un modelo

Tabla 16. Diagramas diseñados por los estudiantes para explicar el proceso de modelaje

5.4. Instrumento Las propiedades de las sustancias iónicas y covalentes

Se elaboran 7 preguntas que busca dar respuesta frente a las propiedades como: características físicas, forma de cristales, solubilidad en agua, conductividad eléctrica y puntos de fusión de sustancias iónicas y covalentes. A partir de una actividad empírica, los estudiantes deben dar respuesta a cómo es el comportamiento y las propiedades físicas y materiales que presentan las sustancias iónicas y covalentes.

Pregunta 1: Coloque un poco de cada sustancia cristalina por separado en las cajas de Petri o vidrios de reloj. Obsérvelos por medio del estereoscopio y registre sus observaciones en la siguiente Tabla.

Grupo No	Descripción Características Cloruro de sodio (NaCl)	Descripción Características Sacarosa
1	Color blanco, estado sólido, la forma de los cristales es redonda y tiene algo de brillo	Color transparente, estado sólido, la forma de los cristales es cúbica y presenta algo de brillo
2	Es un sólido de color blanco con olor un poco fuerte, presenta cristales de forma octagonal.	Sólido un poco más claro que la sal, que tiene un olor dulce, presenta cristales más finos que la sal.
3	La sal es un poco más gruesa y más opaca que el azúcar.	El azúcar es más finita que la sal y presenta más brillo
4	Su sabor es más fuerte al degustarla, cristales de color blanco	Su sabor es dulce al degustarla, cristales de color blanco.
5	Es muy soluble en agua, los cristales son de forma redonda y de color blanco. Tiene un poco de brillo	Ligeramente soluble en agua, sus cristales son más claros que la sal, con forma cubica, Tiene bastante brillo.

Tabla 17 Descripciones realizadas por los estudiantes, para las muestras de Cloruro de Sodio y Sacarosa.

Algunas fotografías tomadas por los grupos utilizando el estereoscopio, para describir las características cristalinas de las dos sustancias planteadas. (Cloruro de Sodio y Sacarosa) (Tabla 18)



Tabla 18. Fotografías tomadas por los estudiantes de los cristales de cloruro de sodio y sacarosa, vistos en el estereoscopio

Pregunta 2. ¿Qué parecido tienen entre sí estas dos sustancias?

No	Descripciones	Cantidad	Porcentaje
1	Ambas son de color blanco, sus cristales son un poco parecidos y se pueden disolver en agua	3	60%
2	Ambas forman cristales y tienen la misma textura rasposa	1	20%
3	Tienen la misma forma y el mismo color	1	20%

Tabla 19 Comparaciones de semejanza, realizadas por los estudiantes

Pregunta 3 ¿Qué diferencias tienen entre sí estas dos sustancias?

No	Descripciones	Cantidad	Porcentaje
1	El sabor que presentan es diferente (Salado y dulce). El azúcar es más brillante y la sal opaca.	3	50%
2	La textura, la forma y el tamaño de los cristales	2	33,3%
3	La sal es más soluble en agua que el azúcar	1	16,6%

Tabla 20. Comparaciones de diferencia, realizadas por los estudiantes

Pregunta 4. ¿Qué comportamiento tendrá una solución de cloruro de sodio en agua cuando se prueba con un circuito eléctrico? ¿Se prendió el foco? ¿Por qué?

No	Descripciones	Cantidad	Porcentaje
1	El foco se va a encender porque es un enlace iónico y tiene iones conductores	2	40%
2	Se prende el foco porque las propiedades de las sustancias permiten que pueda conducir electricidad.	3	60%
3	Se prende el bombillo porque el NaCl es conductor.	1	20%

Tabla 21. Explicaciones realizadas por los estudiantes frente a la conductividad del cloruro de sodio.

Pregunta 5 ¿Qué comportamiento tendrá una solución de sacarosa en agua cuando se prueba con un circuito eléctrico? ¿Se prendió el foco? ¿Por qué?

No	Descripciones	Cantidad	Porcentaje
1	No se prenderá porque el azúcar no tiene iones	1	20%
2	No porque el azúcar no es un buen conductor de la electricidad.	2	40%
3	El azúcar presenta propiedades que no le permiten conducir electricidad.	3	60%

Tabla 22. Explicaciones realizadas por los estudiantes frente a la conductividad de la sacarosa.

5.5. Instrumento Estructura conceptual del Enlace Químico

Se elaboran **8** preguntas que refieren a las formas de significar que tienen los estudiantes de grado decimo, sobre el enlace químico, el enlace iónico y covalente, luego de haber pasado por el proceso de construcción de un MDA para el concepto de enlace químico. Este cuestionario se aplica de forma individual, por tanto evidencia la información de 15 instrumentos.

Pregunta 1: *Luego de las actividades realizadas, profundizaciones, las explicaciones de la docente frente al concepto de enlace químico y los modelos propuestos para explicar cómo se combinan las especies químicas ¿Qué significado tiene para usted el enlace Químico?*

No	Significado	Cantidad	Porcentaje
1	Unión de los átomos para formar moléculas.	3	20%
2	La interacción entre electrones de los átomos para que se formen moléculas.	6	40%
3	Fuerzas de atracción entre los átomos para buscar ser más estables.	4	26,66%
4	Fuerzas que permiten que los átomos se unan	2	13,33%

Tabla 22 Tendencias que presentan los estudiantes, frente al significado del enlace químico

Pregunta 2 ¿Qué significado adquiere para usted el enlace iónico?

No	Significado	Cantidad	Porcentaje
1	Atracción electrónica fuerte entre los átomos, que permite la formación de iones.	5	33,33%
2	Interacción entre iones de carga opuesta	4	26,66%
3	Fuerzas de atracción en la cual se forman cristales.	1	6,66%
4	Sustancias que forma iones en agua y conducen electricidad.	2	13,33%
5	Unión de átomos para formar moléculas.	3	20%

Tabla 23 Tendencias que presentan los estudiantes, frente al significado del enlace iónico.

Pregunta 3 ¿Qué significado le da usted al enlace covalente?

No	Significado	Cantidad	Porcentaje
1	Atracción electrónica débil, que permite la formación de compuestos estables.	5	33,33%
2	Fuerzas que permiten que los átomos se combinen y compartan electrones para ser más estables.	5	33,33%
3	Combinación de átomos que comparten electrones	3	20%
4	Sustancias que no conducen electricidad.	2	13,33%

Tabla 24 Tendencias que presentan los estudiantes, frente al significado del enlace covalente

Pregunta 4 ¿Qué otros conceptos consideras importantes para explicar la formación de los enlaces químicos?

En esta pregunta, de los 15 instrumentos analizados, se totalizaron 14 conceptos, teniendo en cuenta la cantidad de veces en el cual fueron mencionados, se determinó su porcentaje.

Concepto	Cantidad	Porcentaje
Electrones	10	10,75%
Regla del Octeto	8	8,60%
Conductividad Eléctrica	8	8,60%
Moléculas	8	8,60%
Modelos para explicar el enlace químico	8	8,60%

Solubilidad	7	7,52%
Punto de Fusión	7	7,52%
Átomos	7	7,52%
Estructura Cristalina	7	7,52%
Valencia	6	6,52%
Elemento	5	5,43%
Electronegatividad	5	5,43%
Compuesto	5	5,43%
Iones	2	2,17%

Tabla 25 Términos complementarios para explicar el concepto de enlace químico.

Pregunta 5: Lee atentamente la siguiente situación:

El Níquel presenta una electronegatividad de **1,91** y el Oxígeno de **3,41**, por tanto en la formación del óxido de níquel (II), NiO, la diferencia de electronegatividad corresponde a **1,5**. Bajo este argumento se podría decir que este óxido presenta un enlace covalente, sin embargo a nivel experimental, el óxido de níquel (II) es un cristal de color pardo oscuro, con punto de fusión de 1955°C, presentando características de un enlace iónico. ¿Cuál será el tipo de enlace más adecuado para explicar la estructura del NiO? ¿Por qué?

No	Significado	Cantidad	Porcentaje
1	Es más adecuado el enlace iónico, ya que la sustancia experimentalmente tiene propiedades que responden a este tipo de enlace.	6	40%
2	De los dos tipos de enlace, ya que la electronegatividad también es importante cuando se forman los enlaces químicos y también presenta propiedades de los enlaces iónicos.	4	26,66%
3	Más adecuado, el enlace iónico, se tendría que mirar si conduce electricidad y se puede disolver en el agua.	2	13,33%
4	El enlace covalente, ya que la diferencia de electronegatividad ayuda clasificar mejor los enlaces químicos.	2	13,33%
5	No se puede clasificar en ninguno de los dos, debe corresponder a un enlace diferente.	1	6,66%

Tabla 26 Términos complementarios para explicar el concepto de enlace químico.

Pregunta 6 ¿Es importante la electronegatividad en la formación de los enlaces químicos? ¿Es posible siempre clasificar el tipo de enlace de una sustancia teniendo en cuenta solo este criterio?

No	Significado	Cantidad	Porcentaje
1	La diferencia de electronegatividad nos ayuda a predecir cómo podría clasificar el enlace, pero no siempre se cumple. Se debe conocer otras propiedades.	6	26,66%
2	No es el único factor para clasificar los enlaces existen otros.	4	26,66%
3	No siempre permite clasificar los enlaces.	3	20%
4	Es una propiedad que permite clasificar de manera general los enlaces químicos.	1	6,66%
5	A pesar de que tiene sus excepciones, ayuda bastante a clasificar los enlaces químicos	3	20%

Tabla 28 Significado que presentan los estudiantes frente al papel de la electronegatividad y el enlace químico

Pregunta 7 ¿Qué consideras que aprendiste frente al trabajo desarrollado para explicar el concepto de enlace químico?

Grupo	Significados
1	A conocer que los científicos han diseñado modelos para explicar cosas que no podemos ver. Los compuestos químicos presentan unas características propias. Se pueden determinar los enlaces químicos teniendo en cuenta muchas propiedades y no solo la electronegatividad.
2	Los modelos que existen para explicar los enlaces químicos. Que se debe experimentar para conocer mejor las sustancias y cómo se comportan, me gustó ver como conducen la electricidad las sustancias y otras no.
3	Como podemos clasificar los enlaces químicos. Las diferencias entre un modelo y la realidad.
4	Qué con un modelo se puede entender más fácil las cosas. Conocer la conductividad eléctrica y la solubilidad de las sustancias.
5	El proceso que debe existir para crear un modelo material. Las diferencias que existen entre las sustancias que aparentemente son muy parecidas. Por ejemplo la sal y el azúcar parecen igual, pero se comportan muy diferentes, porque presentan distintos tipos de enlace químico.

Tabla 29 Reflexiones grupales, frente al trabajo realizado para la explicación del concepto de enlace químico.

Pregunta 8. Observa la siguiente imagen y determina su significado.

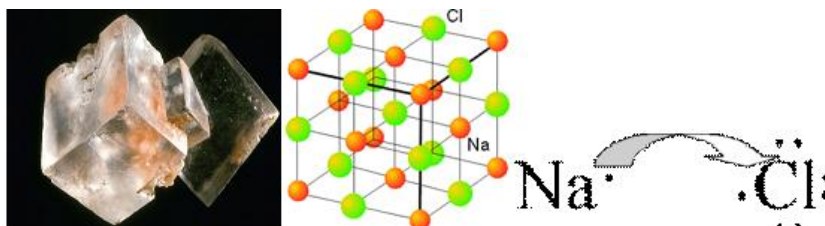


Imagen 12. Imagen propuesta para que los estudiantes expliquen su significado.

Grupo	Significado
1	En la primera parte tenemos un cristal de NaCl (realidad), la segunda un modelo de cómo es la estructura cristalina con sus átomos y en la tercera como se forma el enlace.
2	El cristal de NaCl, como está constituido, su estructura cristalina y como el sodio cede el electrón al cloro.
3	La primera imagen es una fotografía de un cristal que posiblemente es sal común (NaCl), en la segunda imagen un modelo material de estructura cristalina entre los átomos y el modelo de Lewis para el enlace. No se puede saber las propiedades para saber el enlace químico.
4	La forma en que vemos con el estereoscopio la sal de cocina (NaCl), luego la estructura cristalina y el modelo de Lewis.
5	Podemos ver parte de una realidad que sería los cristales de la sal, luego como se ha representado la estructura cristalina (modelo material) y el modelo material de Lewis para el enlace entre los elementos sodio y cloro

Tabla 30. Explicaciones grupales frente al significado de la imagen propuesta.

6. ANALISIS DE RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos en los 5 instrumentos aplicados en el grupo de estudiantes, se puede analizar las tendencias presentadas frente al significado del enlace químico, luego de la construcción de un MDA para este concepto. A continuación se hará la discusión frente a las respuestas dadas en cada uno de los instrumentos.

6.1. *Del Instrumento de Revisión de Ideas Iniciales frente al Enlace Químico.*

En la primera fase del trabajo, este instrumento permite establecer los significados que le dan al enlace químico el grupo de estudiantes, a sabiendas que han tenido un acercamiento hacia la química en años anteriores, según el plan de estudios establecido por la Institución Educativa Departamental Julio Cesar Sánchez de Anapoima. La categorización de las respuestas para el análisis de cada pregunta, se establece hacia una tendencia común, dada la estructura abierta del cuestionario; esta propuesta de presentación de resultados se evidencia en trabajos similares (García-Franco & Garritz, 2006; De-Posada, 1999). A partir de estos presupuestos se recogieron los datos que se exponen en seguida:

Pregunta 1: *Desde su conocimiento en química ¿Qué significado tiene para usted el enlace Químico?*

No	Significado	Cantidad	Porcentaje	Clasificación	Categoría
1	Unión de los átomos para formar moléculas.	8	53,33%	Desfavorable	
2	Fuerza que permiten que los átomos se unan	2	13,33%	Favorable	SQ1
3	No tiene clara una definición.	5	33,33%	Nula	

Tabla 31 Tendencias que presentan los estudiantes, frente al significado del enlace químico

Marco Teórico	
<i>“Interacción entre electrones deslocalizados alrededor de centros de gravedad o “cores” atómicos, rodeados por un campo de densidad electrónica $\rho(r)$ que permiten la formación de una entidad compuesta estable” (Gillespie R. , 2006)</i>	
Categorías sobre el significado del enlace químico	Número de veces que aparece la categoría
SQ1: Interacciones entre los electrones de los átomos para la formación de una molécula.	2
SQ2: Interacciones entre elementos para la formación de	

compuestos.	
SQ3: Interacciones entre elementos para formar moléculas estables	

Sólo el 13,3 % de las respuestas realizadas por los estudiantes, se pueden clasificar como significados favorables con respecto al marco teórico, a pesar que sean incompletos, establecen que la finalidad del enlace, es la formación de moléculas; Sin embargo, se evidencia la influencia del discurso de docentes anteriores y la relación con algunos textos frente a la definición de enlace químico, ya que el 53, 3% de las respuestas son desfavorables frente al significado del enlace, pues lo establecen como una simple unión de átomos para formar moléculas, sin tener en cuenta las interacciones que influyen para formarse. En otra proporción considerable, el 33,3% no tiene clara una definición de enlace, lo que puede ser en cierto modo favorable, ya que no están permeados por un discurso que conlleve a significar el enlace químico como una unión simple de átomos ó elementos para formar moléculas.

Pregunta 2: Desde su conocimiento en química ¿Qué significado tiene para usted el enlace iónico?

No	Significado	Cantidad	Clasificación	Porcentaje	Categoría
1	Tendencia de los átomos de ganar y ceder electrones, para cumplir con la regla del octeto.	10	Desfavorable	66,66%	
2	Cuando la diferencia de electronegatividad es mayor de 1,7	4	Desfavorable	26,66%	
3	Se da entre los elementos del grupo VIIA y IA	1	Desfavorable	6,66%	

Tabla 32 Tendencias que presentan los estudiantes, frente al significado del enlace iónico.

Marco Teórico	
<i>Interacción fuerte de naturaleza electrostática entre múltiples iones alternados con carga opuesta que forman redes cristalinas estables. (Aponte A., 2014), que presentan propiedades determinantes a nivel molar como altos puntos de fusión, conductividad eléctrica y solubilidad en agua.</i>	
Categorías sobre el significado del enlace iónico	Número de veces que aparece la

	categoria
SI1: Interacciones de atracción electrostática fuerte entre iones con cargas opuestas.	0
SI2: Interacciones que permite la formación de unidades cristalinas.	0
SI3: Relaciones entre varios iones con carga opuesta que pueden enlazarse.	0
SI4 Interacción fuerte que permite la formación de iones que se atrae alternadamente en un sistema cristalino.	0
SI4: Interacción que permite la formación de iones y se evidencia en propiedades específicas como altos puntos de fusión, conductividad eléctrica y solubilidad en agua.	0

Teniendo en cuenta las categorías para establecer las tendencias, frente a las formas de significar que presenta los estudiantes frente al enlace iónico, el 100% de las respuestas, muestran un concepto desfavorable del enlace iónico, ya que se toma como referencia la analogía de ganar o perder electrones por parte de un átomo que en la mayoría de ocasiones establecen los libros de texto, páginas de internet que utilizan de consulta ó explicaciones de docentes en los años anteriores, otro de los criterios importantes que tienen en cuenta los estudiantes para determinar el enlace iónico, hace referencia a la diferencia de electronegatividad entre los átomos involucrados.

Pregunta 3: Desde su conocimiento en química ¿Qué significado tiene para usted el enlace covalente?

No	Significado	Cantidad	Clasificación	Porcentaje	Categoría
1	Tendencia de los átomos a compartir electrones, para cumplir con la regla del octeto.	9	Desfavorable	60%	
2	Cuando la diferencia de electronegatividad es menor de 1,7	4	Desfavorable	26,66%	
3	No tiene una respuesta clara	2	Nula	13,33%	

Tabla 33 Tendencias que presentan los estudiantes, frente al significado del enlace covalente.

Marco Teórico
<i>Interacción débil entre al menos dos centros atómicos que permite la formación de</i>

moléculas estables a partir del compartimiento electrónico que sucede dentro de una campo de densidad electrónica $\rho(r)$. (Aponte, 2014) y presentan propiedades a nivel molar como bajos puntos de fusión, baja conductividad eléctrica y poca solubilidad en agua.

Categorías sobre el significado del enlace covalente	Número de veces que aparece la categoría
SC1: Interacciones de atracción débil entre átomos que permite la formación de moléculas.	0
SC2: Interacciones en las cuales hay compartimiento de electrones.	0
SC3: Interacción de atracción débil entre los centros atómicos, que se evidencia a nivel macroscópico en propiedades como bajos puntos de fusión, baja conductividad eléctrica y baja solubilidad en agua.	0

Teniendo en cuenta la categorización dada al concepto de enlace covalente, vemos que en un 100% de los argumentos dados por los estudiantes son desfavorables, ya que prima el significado frente a concepciones de que el enlace covalente sólo se rige a la compartición de electrones para cumplir con la regla del octeto, ó que la diferencia de electronegatividad es un indicador para clasificarlo, dejando de lado las interacciones de atracción importantes para que se dé el enlace y la evidencia a nivel molar de las propiedades de las especies covalentes.

Pregunta 4: *¿Qué otros conceptos consideras importantes para explicar la formación de los enlaces químicos?*

En esta pregunta, de los 15 instrumentos analizados, se totalizaron 8 conceptos, teniendo en cuenta la cantidad de veces en el cual fueron mencionados, se determinó su porcentaje.

Concepto	Cantidad	Porcentaje
Regla del Octeto	11	21,56%
Electrones	10	19,60%
Átomos	7	13,72%
Valencia	6	11,76%
Electronegatividad	5	9,8%
Elemento	5	9,8%
Compuesto	5	9,8%
Iones	2	3,92%

Tabla 34 Términos complementarios para explicar el concepto de enlace químico.

Pregunta 5: ¿Por qué son importantes estos conceptos, para explicar el enlace químico?

No	Significado	Cantidad	Porcentaje
1	Los átomos ganan o pierden electrones, lo que forman iones: cationes y aniones	2	6,89%
2	Cuando se conoce la diferencia de electronegatividad se puede clasificar el enlace	5	17,24%
3	Para que los átomos sean estables deben cumplir con la regla del octeto.	11	37,93%
4	Los electrones de valencia son los que permiten formar el enlace químico.	6	20,68%
5	Los elementos se unen para formar compuestos	5	17,24%

Tabla 35 Argumentos que presentan los estudiantes, para justificar los conceptos relevantes en la explicación del enlace químico. La cantidad refiere el número de argumentos en común en los quince instrumentos.

En las respuestas de las preguntas 4 y 5 del instrumento, se hace evidente que los estudiantes consideran relevante la regla del octeto y la diferencia de electronegatividad, para poder establecer que se forme un enlace químico y se pueda clasificar. Los enlaces químicos son las uniones de los átomos para formar compuestos estables y por tanto los electrones de valencia, permite estas uniones.

6.2. Del Instrumento Introducción al proceso de Modelación (La caja negra)

Este instrumento permite orientar a los estudiantes para que planteen modelos mentales de los objetos que se encuentran en el interior de la caja, a partir de la información sensorial y que construyan modelos materiales bidimensionales, para luego ser contrastados con la porción del mundo que se busca representar (Objetos en el interior de la caja)

Pregunta 1. Represente dibujando lo que hay en la caja.

En esta pregunta, de los 5 instrumentos analizados, se totalizaron 17 objetos posibles que se encontrarían en la caja. Teniendo en cuenta la cantidad de veces en el cual fueron mencionados, se determinó su porcentaje.

No	Objeto que considera hay en la	Cantidad	Porcentaje
----	--------------------------------	----------	------------

	caja		
1	Llave	2	9,52%
2	Canica	1	4,76%
3	Clips	2	9,52%
4.	Aretes	1	4,76%
5	Collar	1	4,76%
6	Piedras	2	9,52%
7	Ganchos de cosedora	1	4,76%
8	Chinches	2	9,52%
9	Cascabel	1	4,76%
10	Tapa de Gaseosa	1	4,76%
11	Arena	1	4,76%
12	Pelota	1	4,76%
13	Ficha de Ajedrez	1	4,76%
14	Arroz	1	4,76%
15	Moneda	1	4,76%
16	Borrador	1	4,76%
17	Lápiz	1	4,76%

Tabla 36 Objetos que consideraron los estudiantes se encontraban dentro de la caja. La cantidad refiere el número de veces en común en los cinco instrumentos.

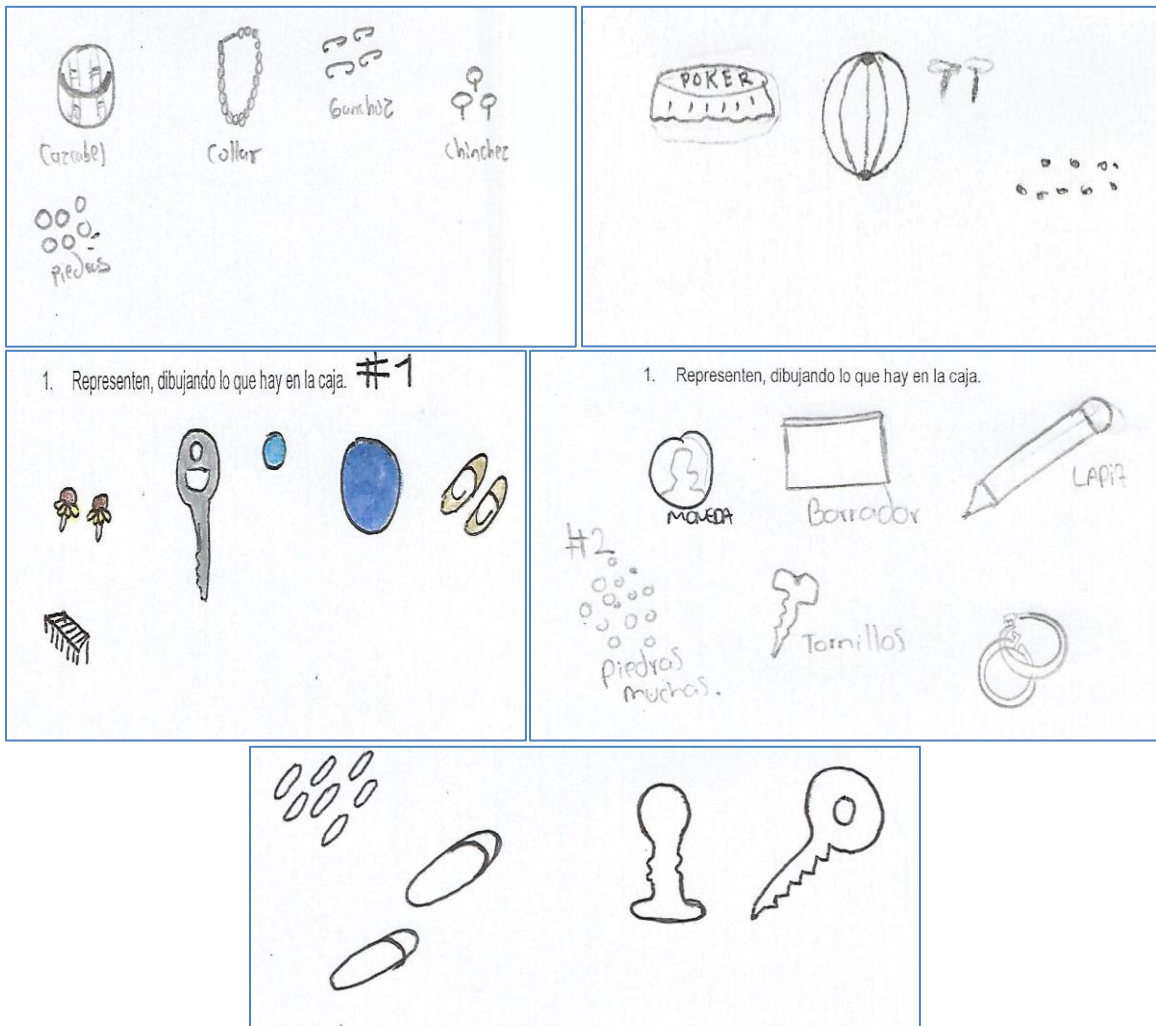


Imagen 12 Modelos materiales propuestos por los grupos de estudiantes, para explicar lo que se encontraba dentro de la caja.

En esta primera parte de la actividad, se evidencia la expectativa que mostraban los estudiantes, por tratar de vaticinar lo que se podría encontrar en el interior de la caja. Muchos se arriesgaron a dar un número determinado de algún objeto en especial, dieron posible color, formas por el sonido.

Pregunta 2. Explique los motivos por los cuales dibujaron lo anterior.

No	Motivos	Cantidad	Porcentaje	Categoría
1	Utilizamos nuestros sentidos y escuchamos el choque de los objetos.	4	57,14%	Cn1
2	El peso aproximado de los objetos	2	28,57%	Cn2

3	Conocimiento previo de algunos sonidos que son característicos de los objetos	1	14,28%	Cn1
---	---	---	--------	-----

Tabla 37 Motivos que consideraron los estudiantes permitían identificar los objetos dentro de la caja. La cantidad refiere el número de veces en común en los cinco instrumentos.

Categorías


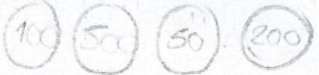

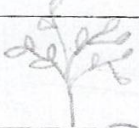



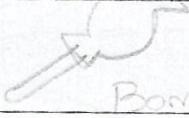
Cn1 El sonido de los objetos

Cn2 El peso de los objetos

Cn3 Las vibraciones al golpear la caja

Los estudiantes identifican el sonido, el peso y las vibraciones al golpear los objetos dentro de la caja, como evidencia. Esta pregunta permitió hacer énfasis en que los modelos materiales se pueden construir, a partir de lo que percibimos con nuestros sentidos (mover la caja, el peso, escuchar sonidos) y de los conocimientos previos (reconocer objetos que presentan sonidos similares), pero que los modelos no coinciden con una realidad (los objetos dentro de la caja).

Pregunta 3. Realiza una comparación del dibujo realizado (modelo) con lo que hay en la caja (realidad). Identifica las similitudes y diferencias que encuentra entre ellos.

MODELO	REALIDAD
 Moneda	
 Piedras	 Arroz
 Borrador	 Chupa
 lapiz	 Bamban Bar


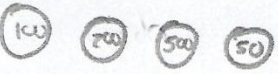








MODELO	REALIDAD
 <i>cazabel</i>	 <i>monedas</i>
 <i>pedras</i>	 <i>Arroz</i>
 <i>collar</i>	 <i>chupó</i>
 <i>Sanchoz</i>	 <i>llave</i>
 <i>chirchez</i>	 <i>hombon.</i>

Imagen 13. Comparación entre los modelos materiales propuestos por los estudiantes y la “realidad” de los objetos que se encontraban en la caja.

Categoría

Sc1 Se contrastó identificando similitudes y diferencias al comparar los objetos analizados

Sc2 Simplemente elaboró una lista de objetos.

En esta pregunta, 4 grupos (80%), relacionaron los objetos que se encontraban en la caja, con los modelos materiales bidimensionales propuestos, teniendo en cuenta las características de sonido similares y la vibración dentro de la caja.

Uno de los grupos simplemente enlistó los objetos, sin relacionar las características similares.

A partir de las respuestas generadas en el anterior instrumento y el análisis de los objetos que se encontraban dentro de una caja, permitió que los estudiantes tuvieran un acercamiento al proceso de modelaje.

6.3. Del Instrumento La modelación en la ciencia y la ciencia escolar

Pregunta 1. ¿Qué entiende por analogía? Ejemplifique:

No	Significados	Cantidad	Clasificación	Porcentaje	Categoría
1	Comparación de relación entre varias cosas	1	Favorable	20 %	Md2
2	Analizar las cosas con respecto a otro objeto	1	Favorable	20%	Md3
3	Objetos con función y posición parecida	1	Favorable	20%	Md2
4	Contextualización de parte del mundo con propiedades similares a un modelo	1	Favorable	20%	Md1
5	No tiene una respuesta clara.	1	Nula	20%	

Tabla 38 Significado que presentan los estudiantes a una analogía.

Marco Teórico	
Está constituido por aquellos rasgos o propiedades que sabemos similares entre el modelo y la realidad. (Chamizo, 2010) -Relación de semejanza entre cosas distintas. -Significa comparación entre varias razones, modelos ó experiencias.	
Categorías sobre el significado de analogía	Número de veces que aparece la categoría
Md1: Relación entre el modelo y el mundo, teniendo en cuenta rasgos y propiedades.	1
Md2: Comparación entre objetos, modelos y experiencias.	2
Md3: Relación de semejanzas entre objetos, modelos y experiencias.	1

La mayoría de los grupos, en un 80%, tienen una idea favorable frente al marco teórico frente a lo que significa una analogía, ya que hacen referencia a la relación y comparación de objetos con funciones parecidas y lo contextualizan con una parte de la realidad, lo que evidencia la influencia de la lectura y el trabajo desarrollado para la construcción del MDA.

Pregunta 2. Mencione y ejemplifique tres tipos de modelos (que no sean mencionados en el texto) que se relacionen con la química

No	Ejemplos de modelos	Cantidad	Clasificación	Porcentaje	Categoría
1	Modelo de Thompson (Pudín con pasas)	3	Favorable	23,07%	Em1
2	Modelo de Rutherford	3	Favorable	23,07%	Em1
3	Modelo de ADN	2	Favorable	15,28%	Em2
4	Modelo de Dalton	1	Favorable	7,69%	Em1
5	Modelo de Bohr	1	Favorable	7,69%	Em1
6	Modelo Celular	1	Favorable	7,69%	Em3
7	Modelo del cuerpo Humano	1	Favorable	7,69%	Em3
8	Modelo del proceso de Mitosis y meiosis	1	favorable	7,69%	Em4

Tabla 39 Ejemplos de modelos dados por los estudiantes que se relacionan con la química.

Categorías Ejemplos de modelos relacionados con la química	Número de veces que aparece la categoría
Em1 Modelos atómicos	3
Em2 Modelos moleculares	1
Em3 Modelos Estructuras Biológicas	2
Em4 Modelos Procesos Biológicos	1

En esta pregunta, se evidencia que los estudiantes, identificaron en su gran mayoría, que la palabra modelo ha sido mencionado, durante su formación académica. Un 61,2% hace referencia a modelos atómicos para ejemplificar. El 15,28% a modelos que representan moléculas, en especial el ADN. El 23,07% de las respuestas proponen como ejemplo modelos de explicación propios de la biología, aunque la pregunta estaba enfocada exclusivamente a la química, cabe resaltar, que reconocen que la ciencia ha propuesto modelos para explicar porciones de la realidad compleja.

Pregunta 3. Con tus palabras, indica la razón por lo cual se construyen los modelos.

No	Significados	Cantidad	Clasificación	Porcentaje	Categoría
1	Se construyen por la necesidad de explicar un proceso y conocer su	2	Favorable	40%	Cm2

	estructura				
2	Se construyen para acercarnos a parte de la realidad	1	Favorable	20%	Cm3
3	Se construyen para entender y darle una forma a lo que desconocemos.	1	Favorable	20%	Cm3
4	Se construyen para representar algo real, que no podemos ver pero que existe.	1	Favorable	20%	Cm1

Tabla 40 Significado que presentan los estudiantes frente al por qué se construyen los modelos.

Marco Teórico	
Los modelos (m) son representaciones, basadas generalmente en analogías, que se construyen contextualizando cierta porción del mundo (M), con un objetivo específico. Las funciones de los modelos son entender, explicar y predecir un fenómeno a partir de otro en principio más accesible y más conocido que el primero que se emplean para estudiar de forma contextualizada una cierta porción del mundo. (Chamizo, 2010)	
Categorías sobre el significado de modelo	Número de veces que aparece la categoría
Cm1 Se construyen para representar una idea, objeto, hecho ó fenómeno,	1
Cm2 Se construyen para explicar una idea, objeto, hecho ó fenómeno	1
Cm3 Se construyen para entender una idea, objeto, hecho ó fenómeno	2
Cm4 Se construyen para predecir una idea, objeto, hecho ó fenómeno	

Los significados que le dan los estudiantes, a los modelos en un 40%, hace relación a que se construyen para entender una idea, objeto o porción del mundo en términos de (Chamizo,2010). El 20 % de las respuestas consideran que la función del modelo es el de representar esa idea, objeto ó fenómeno a modelar. El restante 20% consideran que la función de los modelos es la de explicar la porción

del mundo que se modela. A pesar que es una definición incompleta de las funciones de los modelos, ya que se deja de lado que permiten predecir el comportamiento, se ve el 100% de favorabilidad frente al marco referencial.

Pregunta 4. ¿Cuál es el objetivo de los modelos Didácticos?

No	Significados	Cantidad	Clasificación	Porcentaje	Categoría
1	Simplificar por medio de dibujos generalmente, lo que es complejo de entender en la ciencia.	1	Favorable	20%	Om1
2	Explicar el contexto científico de manera más fácil, sencilla y práctica.	2	Favorable	40%	Om1
3	Comprender de forma más fácil y entretenido, más didáctico los diferentes temas.	1	Favorable	20%	Om1
4	Una herramienta intelectual para abordar problemas de la educación	1	Favorable	20%	Om1

Tabla 41 Significado que presentan los estudiantes frente a el objetivo de los modelos didácticos.

Marco Teórico	
<p>Modelos Didácticos: Son los modelos que se utilizan con la finalidad de simplificar el conocimiento para transformarlo en información menos rigurosa y abstracta , es decir pasan por un proceso de transposición didáctica. En el cual se seleccionan los aspectos fundamentales de cada modelo ó teoría y al mismo tiempo, estos aspectos deben ser relevantes y útiles para los estudiantes en la elaboración de explicaciones significativas acerca de los fenómenos naturales. Los modelos didácticos pueden ser dos naturalezas: (Chamizo J. , 2010): Los modelos didácticos correspondientes a la enseñanza (presentados por expertos en el entorno escolar) Modelos didácticos correspondientes al aprendizaje, elaborados por los aprendices</p>	
Categorías sobre el significado de modelo didáctico	Número de veces que aparece la categoría
Om1 <i>El objetivo de los modelos didácticos es simplificar el conocimiento para transformarlo en información más accesible y menos abstracta.</i>	1

Om2 El objetivo de los modelos didácticos es permitir que los estudiantes puedan dar explicaciones significativas acerca de los fenómenos de la naturaleza.	1
--	---

El significado que le dan los estudiantes a los modelos didácticos, establece que su objetivo es facilitar la comprensión de las diferentes teorías y modelos propuestos por la ciencia. Estas respuestas se enfocan más al objetivo que presentan los modelos didácticos correspondientes a la enseñanza. Se deja de lado que los modelos didácticos, también lo pueden construir ellos, cuando tratan de dar a explicación a un concepto enmarcado por la ciencia,

Pregunta 5. Reflexiona con tus compañeros ¿Cómo modelamos las personas?

No	Significados	Cantidad	Clasificación	Porcentaje	Categoría
1	Saber lo que se va a explicar, crear un modelo mental, recolectar datos y plan tear un modelo material o matemático	2	Favorable	40%	Pm2
2	Un modelo mental y luego se elabora un modelo	1	Favorable	20%	Pm1
3	De forma analógica, mental, material y matemática	1	Favorable	20%	Pm2
4	Encontrar un propósito, crear un prototipo que explique.	1	Desfavorable	20%	

Tabla 42 Significados de los estudiantes al proceso de modelación.

Marco Teórico	
El proceso de modelaje según (Chamizo, 2010)	
<ol style="list-style-type: none"> 1. A partir de las preguntas del mundo se construye inicialmente un modelo mental, a través de conocimientos, imaginación y creatividad . 2. Se genera un modelo material basado en la recolección de datos sobre la percepción del mundo y la construcción física del modelo expresado de forma material ó matemática. 3. El modelo expresado es contrastado y se verifica si encaja contra los hechos del mundo 	
Categorías sobre el significado de como modelan las personas	Número de veces que aparece la

	categoria
Pm1 Construcción de un modelo Mental	2
Pm2 Se construye inicialmente un modelo mental y luego un modelo material ó matemático.	1
Pm3 A partir de un modelo mental, se generan modelos materiales ó matemáticos que permite explicar y verificar si encaja con la porción del mundo estudiada.	

Pregunta 6. Realiza un diagrama en donde sean evidentes los pasos ó etapas implicadas en este proceso.

Grupo	Diagrama	
1		Mundo Real Recolección De datos Modelo Modelo Mental material ó Matemático y/o Construcción
2		Analogía Mental Material Matemático
3	<ul style="list-style-type: none"> - observar - Imaginar - plantear - construcción de modelo material 	*Observar *Imaginar *Plantear *Construcción de un modelo material

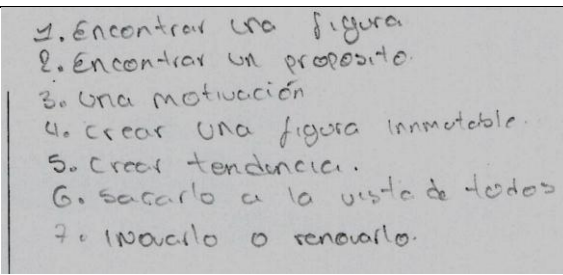
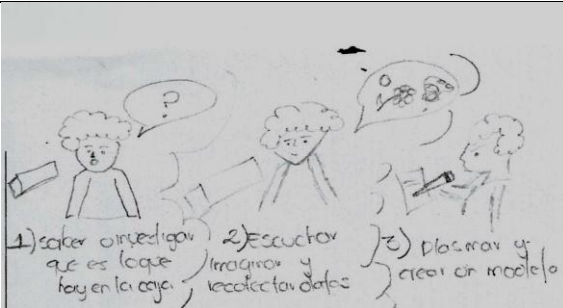
	 <ol style="list-style-type: none"> 1. Encontrar una figura 2. Encontrar un propósito. 3. Una motivación 4. Crear una figura inmutable. 5. Crear tendencia. 6. Sacarlo a la vista de todos 7. Innovarlo o renovarlo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Encontrar una figura 2. Encontrar un propósito 3. Una motivación 4. Crear una figura inmutable 5. Crear una tendencia 6. Sacarlo a la vista de todos 7. Innovarlo o renovarlo
	 <p>1) saber o investigar que es lo que hay en la caja</p> <p>2) Escuchar (imaginar y recolectar datos)</p> <p>3) plasmar y crear un modelo</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Saber o investigar lo que se quiere explicar 2. Imaginar y recolectar datos 3. Plasmar y crear un modelo

Tabla 43. Diagramas diseñados por los estudiantes para explicar el proceso de modelaje

Basados en la respuestas de los estudiantes, se evidencia que en un 80% identifican que para el proceso de modelaje, se debe construir inicialmente un modelo mental, de los cuales el 50% establece que posteriormente se genera un modelo material ó matemático. No se evidencia significado frente a la explicación y verificación del modelo frente a la porción del mundo que se estudia, sin embargo se tiene claro la fase inicial del proceso de modelaje. Solo el 20% tienen un significado desfavorable frente al marco teórico, ya que propone el proceso de modelaje como la explicación de creación de un prototipo de un objeto ó idea.

6.4. Del Instrumento Las propiedades de las sustancias iónicas y covalentes

Se elaboran 7 preguntas que busca dar respuesta frente a las propiedades como: características físicas, forma de cristales, solubilidad en agua, conductividad eléctrica y puntos de fusión de sustancias iónicas y covalentes. A partir de una actividad empírica, los estudiantes deben dar respuesta a como es el comportamiento y las propiedades físicas y materiales que presentan las sustancias iónicas y covalentes.

Pregunta 1: Coloque un poco de cada sustancia cristalina por separado en las cajas de Petri o vidrios de reloj. Obsérvelos por medio del estereoscopio y registre sus observaciones. (Tabla 44).

Grupo No	Descripción Características Cloruro de sodio (NaCl)	Descripción Características Sacarosa	Clasificación	Categoría
1	Color blanco, estado sólido, la forma de los cristales es redonda y tiene algo de brillo	Color transparente, estado sólido, la forma de los cristales es cúbica y presenta algo de brillo	Descripción Detallada	Sic1 Sic2 Sic4
2	Es un sólido de color blanco con olor un poco fuerte, presenta cristales de forma octagonal.	Sólido un poco más claro que la sal, que tiene un olor dulce, presenta cristales más finos que la sal.	Descripción Detallada	Sic1 Sic2
3	La sal es un poco más gruesa y más opaca que el azúcar.	El azúcar es más finita que la sal y presenta más brillo	Descripción breve	Sic3 Sic 4
4	Su sabor es más fuerte al degustarla, cristales de color blanco	Su sabor es dulce al degustarla, cristales de color blanco.	Descripción Breve	Sic2
5	Es muy soluble en agua, los cristales son de forma redonda y de color blanco. Tiene un poco de brillo	Ligeramente soluble en agua, sus cristales son más claros que la sal, con forma cubica, Tiene bastante brillo.	Descripción detallada	Sic1 Sic2 Sic4

Tabla 44. Descripciones realizadas para el cloruro de sodio y la sacarosa, por cada uno de los grupos de estudiantes.

Categorías sobre descripción del cloruro de sodio y la sacarosa	Número de veces que aparece la categoría
Sic1: Descripción de la forma de los cristales	3
Sic2 Descripción del color de la sustancia	4
Sic3 Descripción de la textura de la sustancia	1
Sic4 Descripción del brillo de la sustancia	3

Sic5 Descripción de solubilidad en agua	1
--	---

Pregunta 2. ¿Qué parecido tienen entre sí estas dos sustancias?

No	Descripciones	Cantidad	Porcentaje
1	Ambas son de color blanco, sus cristales son un poco parecidos y se pueden disolver en agua	3	60%
2	Ambas forman cristales y tienen la misma textura rasposa	1	20%
3	Tienen la misma forma y el mismo color	1	20%

Tabla 45 Comparaciones de semejanza propuesta por los estudiantes entre el cloruro de sodio y la sacarosa.

Pregunta 3 ¿Qué diferencias tienen entre sí estas dos sustancias?

No	Descripciones	Cantidad	Porcentaje
1	El sabor que presentan es diferente (Salado y dulce). El azúcar es más brillante y la sal opaca.	3	50%
2	La textura, la forma y el tamaño de los cristales	2	33,3%
3	La sal es más soluble en agua que el azúcar	1	16,6%

Tabla 46 Comparaciones de diferencia propuesta por los estudiantes entre el cloruro de sodio y la sacarosa.

El propósito de estas tres preguntas, era que los estudiantes identificaran el aspecto y las características generales de las sustancias a partir de observaciones iniciales de los cristales de cloruro de sodio y sacarosa. De esta manera hicieron una clasificación general a partir de sus características macroscópicas, ya que entre los aspectos más mencionados para describirlas fueron: el color, la forma, el brillo, la textura, la solubilidad en agua y el sabor, que inicialmente no fue mencionado, pero luego al mencionar las diferencias fue una de las descripciones más tenida en cuenta.

Pregunta 4 ¿Qué comportamiento tendrá una solución de cloruro de sodio en agua cuando se prueba con un circuito eléctrico? ¿Se prenderá el foco? ¿Por qué?

No	Descripciones	Cantidad	Porcentaje
1	El foco se va a encender porque es un enlace iónico y tiene iones conductores	2	40%
2	Se prende el foco porque las propiedades de las	3	60%

	sustancias permiten que pueda conducir electricidad.		
3	Se prende el bombillo porque el NaCl es conductor.	1	20%

Tabla 46 Descripciones realizadas por los estudiantes para explicar la conductividad de una solución de Cloruro de Sodio.

Pregunta 5 ¿Qué comportamiento tendrá una solución de sacarosa en agua cuando se prueba con un circuito eléctrico? ¿Se prenderá el foco? ¿Por qué?

No	Descripciones	Cantidad	Porcentaje
1	No se prenderá porque el azúcar no tiene iones	1	20%
2	No porque el azúcar no es un buen conductor de la electricidad.	2	40%
3	El azúcar presenta propiedades que no le permiten conducir electricidad.	3	60%

Tabla 47 Descripciones realizadas por los estudiantes para explicar la conductividad de una solución de Sacarosa.

De la experiencia en determinar la conductividad eléctrica de las dos sustancias a trabajar, los grupos establecieron otro criterio para diferenciarlas, a pesar que inicialmente tienen aspectos parecidos a nivel macroscópico. Cabe resaltar que el 60 % de los grupos, mencionan que los factores que permite que haya conductividad eléctrica o no, es el que las sustancias presentan propiedades que las hace únicas. El 20 % de las respuestas, evidencia que relacionan esta conductividad eléctrica al tipo de enlace, permitiendo que adquiera significado determinar propiedades a nivel experimental, para reconocer la ionicidad o covalencia que presentan las sustancias.

6.5. De La Estructura Conceptual del Enlace Químico

Luego del proceso de construcción de un MDA para el concepto de enlace químico, este instrumento permite establecer las nuevas formas de significar que presentan los estudiantes. Las primeras 4 preguntas no cambian en esencia al *Instrumento de Revisión de Ideas Iniciales frente al Enlace Químico*.

Pregunta 1: *Luego de las actividades realizadas, profundizaciones, las explicaciones de la docente frente al concepto de enlace químico y los modelos propuestos para explicar cómo se combinan las especies químicas ¿Qué significado tiene para usted el enlace Químico?*

No	Significado	Cantidad	Clasificación	Porcentaje	Categoría
1	Unión de los átomos para formar moléculas.	3	Desfavorable	20%	

2	La interacción entre electrones de los átomos para que se formen moléculas.	6	Favorable	40%	SQ1 SQ3
3	Fuerzas de atracción entre los átomos para buscar ser más estables.	4	Favorable	26,66%	SQ3
4	Fuerzas que permiten que los átomos se unan	2	Desfavorable	13,33%	

Tabla 48 Tendencias que presentan los estudiantes, frente al significado del enlace químico

Marco Teórico	
<i>“Interacción entre electrones deslocalizados alrededor de centros de gravedad o “cores” atómicos, rodeados por un campo de densidad electrónica $\rho(r)$ que permiten la formación de una entidad compuesta estable” (Gillespie R. , 2006)</i>	
Categorías sobre el significado del enlace químico	Número de veces que aparece la categoría
SQ1: Interacciones entre los electrones de los átomos para la formación de una molécula.	1
SQ2: Interacciones entre elementos para la formación de compuestos.	
SQ3: Interacciones entre elementos para formar moléculas estables	2

Aproximadamente el 66,6% de las respuestas generadas por parte de los estudiantes, presentan una clasificación favorable, aunque incompleta frente al marco teórico, el enlace químico se explica en términos de interacciones de los electrones y de fuerzas que permiten la formación de moléculas estables. Sin embargo, alrededor del 34% de las respuestas son desfavorables frente al significado del enlace establecido, pues sigue prevaleciendo como la unión simple de átomo ó elementos para la formación de unidades para formar moléculas.

Pregunta 2 ¿Qué significado adquiere para usted el enlace iónico?

N	Significado	Cantida	Clasificació	Porcentaj	Categorí
1	Atracción electrónica fuerte entre los átomos, que permite la formación de iones.	5	Favorable	33,33%	SI1
2	Interacción entre iones de carga opuesta	4	Favorable	26,66%	SI1 SI3

3	Fuerzas de atracción en la cual se forman cristales.	1	Favorable	6,66%	SI2
4	Sustancias que forma iones en agua y conducen electricidad.	2	Favorable	13,33%	SI4
5	Unión de átomos para formar moléculas al ganar y perder electrones.	3	Desfavorable	20%	

Tabla 49 Tendencias que presentan los estudiantes, frente al significado del enlace iónico.

Marco Teórico	
<i>Interacción fuerte de naturaleza electrostática entre múltiples iones alternados con carga opuesta que forman redes cristalinas estables. (Aponete A., 2014), que presentan propiedades determinantes a nivel molar como altos puntos de fusión, conductividad eléctrica y solubilidad en agua.</i>	
Categorías sobre el significado del enlace iónico	Número de veces que aparece la categoría
SI1: Interacciones de atracción electrostática fuerte entre iones con cargas opuestas.	2
SI2: Interacciones que permite la formación de unidades cristalinas.	1
SI3: Relaciones entre varios iones con carga opuesta que pueden enlazarse.	1
SI4 Interacción fuerte que permite la formación de iones que se atrae alternadamente en un sistema cristalino.	1
SI4: Interacción que permite la formación de iones y se evidencia en propiedades específicas como altos puntos de fusión, conductividad eléctrica y solubilidad en agua.	

A partir de la categorización de los argumentos elaborados por los estudiantes, se observa que en un 80% de las respuestas, presentan una clasificación favorable frente a las formas de significar del enlace iónico, esto implica que dentro de sus construcciones ya se evidencian términos como interacción, atracción, formación de iones, estructuras cristalinas, propiedades físicas como solubilidad y conductividad eléctrica; lo que indica que la construcción del MDA, permitió establecer criterios claros para el enlace iónico. Por otra parte el 20% muestra un concepto desfavorable del enlace iónico, acudiendo todavía a analogías elaboradas por los libros de texto frente a la ganancia y pérdida de electrones por parte de un átomo, o a la formulación de significados ambiguos que no permiten caracterizarlo y diferenciarlo del enlace covalente.

Pregunta 3 ¿Qué significado le da usted al enlace covalente?

No	Significado	Cantidad	Clasificación	Porcentaje	Categoría
1	Atracción electrónica débil, que permite la formación de compuestos estables.	5	Favorable	33,33%	SC1
2	Fuerzas que permiten que los átomos se combinen y compartan electrones para ser más estables.	5	Favorable	33,33%	SC2
3	Combinación de átomos que comparten electrones	3	Desfavorable	20%	SC2
4	Sustancias que no conducen electricidad.	2	Desfavorable	13,33%	

Tabla 50 Tendencias que presentan los estudiantes, frente al significado del enlace covalente.

Marco Teórico	
<i>Interacción débil entre al menos dos centros atómicos que permite la formación de moléculas estables a partir del compartimiento electrónico que sucede dentro de una campo de densidad electrónica $\rho(r)$. (Aponte, 2014) y presentan propiedades a nivel molar como bajos puntos de fusión, baja conductividad eléctrica y poca solubilidad en agua.</i>	
Categorías sobre el significado del enlace covalente	Número de veces que aparece la categoría
SC1: Interacciones de atracción débil entre átomos que permite la formación de moléculas.	1
SC2: Interacciones en las cuales hay compartimiento de electrones.	2
SC3: Interacción de atracción débil entre los centros atómicos, que se evidencia a nivel macroscópico en propiedades como bajos puntos de fusión, baja conductividad eléctrica y baja solubilidad en agua.	

Se determina a partir de la categorización para este tipo de enlace, que los argumentos en un 66,66% favorables, ya que se consideran términos de fuerzas de atracción para la formación de moléculas estables y que estas atracciones son débiles, si bien la mayoría de las respuestas son favorables, son incompletas. Cabe resaltar que algunos mencionaron propiedades físicas como aquellas sustancias que no conducen electricidad, pero no se puede establecer como un criterio único de clasificación. El 20% aún consideran el enlace covalente como una combinación de átomos que comparte electrones.

Pregunta 4 ¿Qué otros conceptos consideras importantes para explicar la formación de los enlaces químicos?

En esta pregunta, de los 15 instrumentos analizados, se totalizaron 14 conceptos, teniendo en cuenta la cantidad de veces en el cual fueron mencionados, se determinó su porcentaje.

Concepto	Cantidad	Porcentaje
Electrones	10	10,75%
Regla del Octeto	8	8,60%
Conductividad Eléctrica	8	8,60%
Moléculas	8	8,60%
Modelos para explicar el enlace químico	8	8,60%
Solubilidad	7	7,52%
Punto de Fusión	7	7,52%
Átomos	7	7,52%
Estructura Cristalina	7	7,52%
Valencia	6	6,52%
Elemento	5	5,43%
Electronegatividad	5	5,43%
Compuesto	5	5,43%
Iones	2	2,17%

Tabla 51 Términos complementarios para explicar el concepto de enlace químico.

Se puede evidenciar que existe un aumento en los conceptos que se hacen necesario para los estudiantes, para dar un significado del enlace químico. Vemos que aparecen nuevos términos que se relacionan directamente, como los modelos que se proponen para explicar el enlace químico, las propiedades físicas que se relacionan a nivel molar con la naturaleza íntima de las sustancias, las estructuras cristalinas. Por tanto es claro que se presentó una gran influencia del MDA construido para el concepto de enlace químico en los estudiantes.

Pregunta 5: Lee atentamente la siguiente situación:

El Níquel presenta una electronegatividad de 1,91 y el Oxígeno de 3,41, por tanto, en la formación del óxido de níquel (II), NiO, la diferencia de electronegatividad corresponde a 1,5. Bajo este argumento se podría decir que este óxido presenta un enlace covalente, sin embargo a nivel experimental, el óxido de níquel (II) es un cristal de color pardo oscuro, con punto de fusión de 1955°C, presentando

características de un enlace iónico. ¿Cuál será el tipo de enlace más adecuado para explicar la estructura del NiO? ¿Por qué?

No	Significado	Cantidad	Clasificación	Porcentaje	Categoría
1	Es más adecuado el enlace iónico, ya que la sustancia experimentalmente tiene propiedades que responden a este tipo de enlace.	6	Favorable	40%	NO1
2	De los dos tipos de enlace, ya que la electronegatividad también es importante cuando se forman los enlaces químicos y también presenta propiedades de los enlaces iónicos.	4	Favorable	26,66%	NO3
3	Más adecuado, el enlace iónico, se tendría que mirar si conduce electricidad y se puede disolver en el agua.	2	Favorable	13,33%	NO2
4	El enlace covalente, ya que la diferencia de electronegatividad ayuda clasificar mejor los enlaces químicos.	2	Desfavorable	13,33%	
5	No se puede clasificar en ninguno de los dos, debe corresponder a un enlace diferente.	1	Nula	6,66%	

Tabla 52 Explicaciones de los estudiantes frente al comportamiento iónico o covalente del NiO

Marco Teórico
<i>El tipo de enlace más adecuado para explicar la interacción Ni y O dentro del compuesto NiO es el iónico, dado que se relaciona íntimamente con las propiedades físicas materiales de esta especie.</i>
<i>La electronegatividad tiene un papel predictivo en la determinación del “tipo de enlace” generado como producto de la interacción entre el Ni y el O, pero no se relaciona con las propiedades del compuesto.</i>

Categorías sobre la relación covalencia – ionicidad en el NiO	Número de veces que aparece la categoría
NO1: El enlace que presenta el compuesto es iónico debido a que experimentalmente se han estudiado sus propiedades y la electronegatividad no cumple ningún papel en la determinación del tipo de enlace.	1
NO2: El enlace en el compuesto NiO es iónico, debido a la evidencia experimental que explica su comportamiento.	1
NO3: El enlace en el NiO es iónico, debido al estudio experimental de sus propiedades; la electronegatividad se establece como un criterio predictivo que puede tener o no relación con el compuesto.	1

Se puede evidenciar, que los estudiantes que el 79,9% de las respuestas se clasifican como favorables, teniendo en cuenta, que reconocen que las sustancias presentan propiedades únicas que se evalúan en el plano experimental y que la diferencia de electronegatividad, no es un criterio único para clasificar si es de carácter iónico o covalente. Sin embargo el 13,33% aún considera que tiene más importancia el valor de la diferencia de electronegatividad para lograr clasificar las sustancias, debido a que en años anteriores, esas fueron las explicaciones iniciales para la temática de enlace químico.

Pregunta 6 *¿Es importante la electronegatividad en la formación de los enlaces químicos? ¿Es posible siempre clasificar el tipo de enlace de una sustancia teniendo en cuenta solo este criterio?*

No	Significado	Cantidad	Clasificación	Porcentaje	Categoría
1	La diferencia de electronegatividad nos ayuda a predecir cómo podría clasificar el enlace, pero no siempre se cumple. Se debe conocer otras propiedades.	4	Favorable	26,66%	E2
2	No es el único factor para clasificar los enlaces existen otros.	4	Favorable	26,66%	E1
3	No siempre permite clasificar los enlaces.	3	Favorable	20%	E1
4	Es una propiedad que permite clasificar de	1	Desfavorable	6,66%	

	manera general los enlaces químicos.				
5	A pesar de que tiene sus excepciones, ayuda bastante a clasificar los enlaces químicos	3	Desfavorable	20%	

Tabla 53. Significado dado por los estudiantes para el papel de la electronegatividad en la clasificación de los enlaces químicos.

Marco Teórico	
<i>El papel de la electronegatividad en la identificación del tipo de enlace es predictivo; esto significa que por medio de los cálculos de diferencia de electronegatividad podemos establecer el probable tipo de interacción que presenta una determinada especie química, sea de naturaleza cristalina o molecular. Cabe resaltar que la electronegatividad como criterio predictivo, puede presentar excepciones, acudiendo a la evidencia empírica como soporte de estas alteraciones.</i>	
Categorías sobre el papel de la electronegatividad en el enlace químico	Número de veces que aparece la categoría
E1: No tiene un papel en la identificación del tipo de enlace, pues es un valor matemático.	1
E2: El papel que presenta la electronegatividad en la determinación del tipo de enlace es únicamente predictivo.	2
E2: No tiene relación la electronegatividad con el tipo de enlace, dado que las especies compuestas pueden presentar ionicidad ó covalencia y dependen de las relaciones internas de los elementos que los conforman.	

Frente al criterio de la electronegatividad y su papel en la determinación del tipo de enlace en una especie química, el 26,6% presenta argumentos desfavorables asumiendo la electronegatividad como elemento clave para comprender el enlace químico, mientras el 46% elaboran formulaciones favorables acerca de que no es el único criterio para lograr clasificar los enlaces químicos que presentan las sustancias. El 26,6% de las respuestas, lo considera con un papel predictivo, pero que se hace necesario evaluar otras propiedades para así lograr clasificarlos.

Las últimas dos preguntas se respondieron en grupo de tres personas para tratar de argumentar, discutir y llegar a un consenso.

Pregunta 7: ¿Qué consideras que aprendiste frente al trabajo desarrollado para explicar el concepto de enlace químico?

Grupo	Significados
1	A conocer que los científicos han diseñado modelos para explicar cosas que no podemos ver. Los compuestos químicos presentan unas características propias. Se pueden determinar los enlaces químicos teniendo en cuenta muchas propiedades y no solo la electronegatividad.
2	Los modelos que existen para explicar los enlaces químicos. Que se debe experimentar para conocer mejor las sustancias y cómo se comportan, me gustó ver como conducen la electricidad las sustancias y otras no.
3	Como podemos clasificar los enlaces químicos. Las diferencias entre un modelo y la realidad.
4	Qué con un modelo se puede entender más fácil las cosas. Conocer la conductividad eléctrica y la solubilidad de las sustancias.
5	El proceso que debe existir para crear un modelo material. Las diferencias que existen entre las sustancias que aparentemente son muy parecidas. Por ejemplo la sal y el azúcar parecen igual, pero se comportan muy diferentes, porque presentan distintos tipos de enlace químico.

Tabla 54. Reflexiones dadas por los grupos de estudiantes frente al desarrollo del MDA y el aprendizaje del concepto del enlace químico.

Pregunta 8. Observa la siguiente imagen y determina su significado.

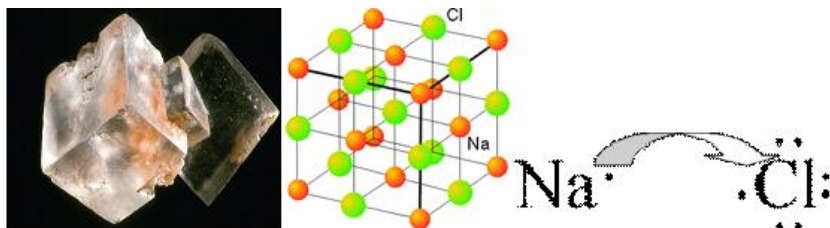


Imagen 14. Imagen propuesta para que los estudiantes expliquen su significado.

Grupo	Significado	Clasificación	Categoría
1	En la primera parte tenemos un cristal de NaCl (realidad), la segunda un modelo de cómo es la estructura cristalina con sus átomos y en la tercera como se forma el enlace.	Favorable	NC1
2	El cristal de NaCl, como está constituido, su estructura cristalina y como el sodio cede el electrón al cloro.	Desfavorable	
3	La primera imagen es una fotografía de un cristal que posiblemente es sal común (NaCl), en la segunda imagen un modelo material de estructura cristalina entre los átomos y el modelo de Lewis para el enlace. No se puede saber las propiedades para saber el enlace químico.	Favorable	NC1 NC2 NC3
4	La forma en que vemos con el estereoscopio la sal de cocina (NaCl), luego la estructura cristalina y el modelo de Lewis.	Desfavorable	NC3
5	Podemos ver parte de una realidad que sería los cristales de la sal, luego como se ha representado la estructura cristalina (modelo material) y el modelo material de Lewis para el enlace entre los elementos sodio y cloro	Favorable	NC1 NC2 NC3

Tabla 55 Explicaciones grupales frente al significado de la imagen propuesta.

Marco Teórico	
<p><i>En la imagen se describen tres fases: La primera fase hace referencia a una fotografía del nivel molar de un cristal que se podría considerar NaCl, es decir, la porción del mundo (M) que se va a modelar. En la segunda fase encontramos un modelo material iconográfico de su estructura cristalina, como un sistema complejo de iones alternados con carga opuesta y en la tercera fase un modelo material iconográfico propuesto por la ciencia para explicar la formación del enlace. Modelo de Lewis.</i></p>	
Categorías	Número de veces que aparece la categoría
NC1. Proceso de modelación de la estructura cristalina del NaCl	3
NC2: Evidencia de los modelos materiales propuestos para explicar y representar la estructura molecular del NaCl y su	2

capacidad de combinación.	
NC3: Modelos de Lewis para representar el enlace que existe estos elementos.	3

En estas dos últimas preguntas, podemos evidenciar que se llegan a consensos para poder dar justificación a los cuestionamientos planteados. Los grupos en un 100%, mencionan el proceso de modelaje y la función que presentan los modelos para explicar la porción del mundo que pretende representar. En cuanto al significado del enlace químico, se hace referencia en un 40% favorable a considerar que las sustancias presentan propiedades íntimamente ligadas a su naturaleza iónica o covalente. Es claro que para los estudiantes, para poder clasificar una sustancia, se deben tener criterios desde el plano molar, como su conductividad eléctrica, solubilidad en agua y puntos de fusión, (datos recogidos de una evidencia experimental) y no sólo como resultado de modelos matemáticos, que se han propuesto para categorizar las sustancias y sugiriendo que la ciencia ha propuesto modelos y muchos de ellos se han llevado a un plano, en el cual sea más entendible (modelos didácticos), pero que estos modelos científicos, presentan un fundamento más complejo que el que se maneja en el aula de clase.

7. CONCLUSIONES

1. Se revisó las formas de significar que presenta el enlace químico, en estudiantes de grado decimo antes de realizar una construcción de un Modelo Didáctico Analógico (Galagovsky & Adúriz- Bravo, 2001) para el concepto, notándose que para justificar su existencia, acuden a designar a los enlaces como simples uniones entre los átomos para formar moléculas, sin tener en cuenta si eran de naturaleza iónica ó covalente. Estas concepciones son producto de explicaciones y construcciones teóricas incompletas, que muchas veces tienen los textos escolares y sitios web que ellos consultan y reforzado por el discurso que maneja los docentes que hicieron la introducción del tema en años anteriores.
2. Luego de una reconstrucción histórica frente al concepto, los aportes que hace la filosofía de la química para rescatar la autonomía y estatuto epistemológico de la química y centrados en el estudio del realismo de las entidades, fundamentados en las postulaciones de (Hacking, 1996), se determina que el enlace químico no es real, lo que existe son sustancias con naturaleza iónica ó covalente, y por tanto, la intervención en el plano experimental, permite que existan distintos modelos de enlace que pueden explicar y representar la naturaleza de las interacciones entre dos centros atómicos o iónicos, así como sus propiedades.
3. El conocimiento del proceso de modelación por parte de los estudiantes, 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.
4. Los significados que se evidenciaron en los estudiantes durante la construcción del MDA, se vieron permeados, al tener una visualización más clara frente al proceso de modelación, en la ciencia y en la ciencia escolar y en la intervención en el plano experimental para conocer la naturaleza de las sustancias. Esto permitió que al tratar de dar explicaciones frente al enlace químico, concibieran la importancia de considerar que cada sustancia presenta propiedades únicas, y que su clasificación esta no

solamente ligada a una diferencia de electronegatividad, ó la representación icónica de un modelo material, sino a su comportamiento en el plano molar.

- 5.** El desarrollo de la investigación, permitió hacer una estrecha relación entre las posturas que plantea la filosofía de la química, en especial desde el instrumentalismo de Ian Hacking, y la educación en ciencia fundamentada desde un pensamiento modelístico, donde los estudiantes reconocen la importancia de la modelación, sus limitaciones y dando relevancia el intervenir desde el plano experimental, más que representar.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, A., Pérez-Miranda, R., & Gallego-Badillo, R. (2008). Una reconstrucción histórico-epistemológica. El modelo atómico de John Dalton. *Investigación e Innovación en Enseñanza de las Ciencias*, 2(1), 50 - 59.
- Aduriz-Bravo, A. (2011). Concepto de modelo científico: Una mirada epistemológica de su evolución. En L. Galagovsky, *Didáctica de las Ciencias Naturales: El caso de los Modelos Científicos*. (págs. 141 - 161). Buenos Aires: Lugar .
- Aduriz-Bravo, A. (15 de 01 de 2012). A "Semantic" View of Scientific Models for Science Education. *Science & Education*, 1 - 19.
- Aduriz-Bravo, A. (26 de 03 de 2012). Algunas características claves de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación química*, 1-9.
- Aduriz-Bravo, A., & Izquierdo, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las Ciencias Naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias.*, 4(1), 40 - 49.
- Aguilera, A., & Garay, F. (2014). La estructuración de la química orgánica a partir de las teorías dual y unitaria: Una mirada Kuhniana. *Educación química*, 25(2), 148 - 153.
- AIST, N. I. (2013 йил 22-01). *Spectral Data Base for Organic Compounds (SDBS)*. From http://sdbs.db.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi
- Alarcón, L., Aponte, A., Sánchez, G., & Garay, F. (2013). En búsqueda de un modelo para el concepto Discontinuidad de la Materia. *IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias* (pp. 42 - 46). Girona, España: Enseñanza de las Ciencias .
- Almeida, R. (2009). La mecánica cuántica y el enlace químico. *Avances en química*, 4(2), 83 - 90.

- Arcila, P., Mendoza, Y., Jaramillo, J., & Cañon, O. (2010). Comprensión del significado desde Vygotsky, Bruner y Gergen. *Divers.: Perspectiva Psicológica.*, 6(1), 37-49.
- Bader, R., & Matta, C. (2013). Atoms in molecules as non-overlapping, bounded, space-filling open quantum systems. *Foundations of Chemistry*, 15, 253-276.
- Bausela-Herreras, E. (2004 йил 25-04). *La Docencia a través de la Investigación - Acción*. Retrieved 2014 йил 25-06 from Revista Iberoamericana de Educación: <http://www.rieoei.org/deloslectores/682Bausela.PDF>
- Bedolla, C. A., & Olvera, B. C. (2009). La química computacional en el salón de clase. *Educación Química*, 182-186.
- Benarroch, A. (2000). Del modelo cinético - molecular a los modelos atómicos. Reflexiones didácticas. *Alambique*(23), 95 - 108.
- Bengoetxea, J. B. (2004). Filosofía y Enseñanza de la Química sin Reduccionismos. *Educacao y Filosofía*, 233-258.
- Benitez. (s.f.). percepción sensible y conocimiento del mundo natural en Rene Descartes. 19 - 32.
- Benitez, G. L. (2004). Descartes y Bacon: Algunos aspectos metodológicos. *Revista Digital Universitaria*, 2-11.
- Benitez, L. (1996). El atomismo como enlace entre Giordano Bruno y Rene Desacrtes. 61 - 72.
- Benitez, L. (2002). El atomismo como enlace entre Giordano Bruno y René Descartes. En L. Benitez, & J. A. Robles, *Giordano Bruno 1600 - 2000* (págs. 61 - 72). México D.F., México: Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- Benitez, L. (2010). Sobre el concepto de materia en Newton: Entre Descartes y Boyle. En J. A. Chamizo, *Historia y Filosofía de la Química. Aportes para la enseñanza*. (págs. 157 - 168). México D.F., México: Siglo XXI.
- Bensaude Vicent, B., & Stengers, I. (1997). *Historia de la Química*. Madrid: Addison Wesley Iberoamericana S.A.
- Bensaude-Vincent, B., & Stengers, I. (1997). *Historia de la química*. Madrid: Addison Wesley/UAM.

- Bensaude-Vincent, B., & Stengers, I. (1997). *Historia de la Química*. Madrid, España: Addison-Wesley Iberoamericana S.A.
- Bernal, A., & Daza, E. (2010). On the Epistemological and Ontological Status of Chemical Relations. *HYLE International Journal for Philosophy of Chemistry*, 16(2), 80-103.
- Bertomeu-Sánchez, J., & García-Belmar, A. (2006). Visiones de la Revolución Química (1794-1943): Entre la historia y la memoria. *Cuadernos dieciochistas*, 113 - 140.
- Betancourt, A. (2002). Newton organicista: mas alla de lo probable. *revista colombiana de filosofía de la ciencia*, 113 - 127.
- Blanco, Á., Ruíz, L., & Prieto, T. (2010). El desarrollo histórico del conocimiento sobre las disoluciones y su relación con la Teoría Cinético-Molecular. Implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(3), 447 - 458.
- Bonini-Viana, H., & Alves-Porto, P. (2010). The Development of Dalton's Atomic Theory as a Case Study in the History of Science: Reflections for Educators in Chemistry. *Science and Education*, 19, 75-90.
- Boyle, R. (1985). *La filosofía mecánico corpuscular*. (C. S. Santos, Trad.) Madrid, España: Alianza Editorial.
- Brock, W. (1998). *Historia de la química*. Madrid: Alianza.
- Brock, W. (1998). *Historia de la química*. Madrid: Alianza Editorial.
- Brock, W. H. (1998). *Historia de la química*. Madrid, España: Alianza Editorial S.A.
- Brown, T., Lemay JR, H., Burnsten, B., Murphy, C., & Woodward, P. (2014). *Química, la ciencia central*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Caamaño, A. (2003). Modelos híbridos en la enseñanza y en el aprendizaje de la química. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 35, 70-81.
- Campbell, J. (1963). Why do chemical reactions occur? In *Chemistry Today* (pp. 163 - 181). OECD.
- Cardellini, L. (2012). Chemistry: Why the Subject is Difficult? *Educación química*, 1 - 6.

- Carman, C. C. (2005). "Realismo Científico" se dice de muchas maneras, al menos de 1111: una elucidación del término "realismo científico". *Scientiae Studia*, 3(1), 43 - 64.
- Cartwright, J. (2000). *Del flogisto al oxígeno, estudio de un caso práctico de revolución científica*. Tenerife: Fundación Canaria Orotara de Historia de la Ciencia.
- Castro, E. (1992). El empleo de modelos en la enseñanza de la química. *Enseñanza de las ciencias*, 10(1), 73 - 79.
- Causá, M., Savin, A., & Silvi, B. (2014). Atoms and bonds in molecules and chemical explanations. *Foundations of Chemistry*, 16, 3-26.
- Chamizo. (2009). Filosofía de la química I. Sobre el método y los modelos. *Educación Química*, 6-11.
- Chamizo. (2010). Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias Naturales. *Universidad Autónoma de México*, 13-18.
- Chamizo, J. (1992). Modelos de Enlace químico. *Elementos*, 2, 28-32.
- Chamizo, J. (1992). Modelos del enlace químico. *Elementos, Universidad Autónoma de Puebla*, 28-32.
- Chamizo, J. (2009). Filosofía de la química: I. Sobre el método y los modelos. *Educación química*, 6-11.
- Chamizo, J. (2010). El conocimiento químico. In J. A. Chamizo, *Historia y Filosofía de la Química. Aportes para su enseñanza* (pp. 211 - 233). México: Siglo XXI Editores.
- Chamizo, J. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Eureka Ense. Divul. Cien*, 26-41.
- Chamizo, J. (2011). La imagen pública de la química. *Educación química*, 22(4), 320 - 331.
- Chamizo, J. A. (2006). Los modelos en química. *Educación química*, 17(4), 476 - 482.
- Chamizo, J. A. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 7(1), 26 - 41.

- Chamizo, J. A. (2011). La imagen pública de la química. . *Educación química*, 22(4), 320–331.
- Chamizo, J. A. (2012). La naturaleza de la química. . *Educación química*, 23(2), 298–304.
- Chamizo, J., Castillo, D., & Pacheco, I. (2012). La naturaleza de la química. *Educación química*, 1 - 7.
- Chamizo, J., Castillo, D., & Pacheco, I. (2012). La naturaleza de la química. *Educación química*, 1 - 7.
- Chang, H. (2010). The Hidden History of Phlogiston. How Philosophical Failure Can Generate Historiographical Refinement. *HYLE--International Journal for Philosophy of Chemistry*, 16(2), 47 - 79.
- Chittleborough, G., & Treagust, D. (2007). The modelling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 274 - 292.
- Clericuzio, A. (s.f.). El relojero ajetreado: Dios y el mundo en el pensamiento de Boyle. 70 - 93.
- Cotton, F., & Wilkinson, G. (2001). *Química Inorgánica Avanzada*. México: Limusa S.A.
- Cremer, D., & Kraka, E. (1984). A description of the chemical bond in terms of local properties of Electron Density and Energy. *Croatica Chemica Acta*, 57(6), 1259–1281.
- Cremer, D., & Kraka, E. (2010). From Molecular Vibrations to Bonding, Chemical Reactions, and Reaction. *Current Organic Chemistry*, 4, 1524-1560.
- Cuellar-Fernández, L., Gallego-Badillo, R., & Pérez-Miranda, R. (2008). El modelo atómico de E. Rutherford. Del saber científico al conocimiento escolar. *Enseñanza de las ciencias*, 26(1), 43 - 52.
- Cynthia, K. (2008). Closing in on Chemical Bonds by Opening up Relativity Theory. *International Journal of Molecular Sciences*, 9, 272-298.
- Del Re, G. (2000). *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*. (J. Schummer, Ed.) Recuperado el 21 de 12 de 2012, de <http://www.hyle.org/journal/issues/6/delre.htm>

- De-Posada, J. (1999). Concepciones de los alumnos sobre el enlace químico antes, durante y después de la enseñanza formal. *Problemas del aprendizaje. Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 227-245.
- Descartes, R. (1637). *Webliboteca del pensamiento*. Obtenido de www.webliboteca.com.ar
- Diéguez Lucena, A. (1998). Los Compromisos del Realismo. *Revista Interdisciplinar de Filosofía*, 145-173.
- Diéguez-Lucena, A. (1998). Los compromisos del Realismo Científico. *Revista Interdisciplinar de Filosofía*(3), 145 - 173.
- Erduran, S. (2005). Beyond Philosophical Confusion: Establishing the Role of Philosophy of Chemistry in Chemical Education Research. *International History, Philosophy and Science Teaching Conference*, (pp. 1 - 23). Leeds.
- Erduran, S., & Mugaloglu, E. (2013). Philosophy of chemistry in chemical education: Recent trends and future directions. In M. Matthews, *Handbook of Research on History, Philosophy and Sociology of Science*. (pp. 1 - 32). Bristol, UNITED KINGDOM: Springer.
- Erduran, S., & Scerri, E. (2002). The nature of chemical knowledge and chemical education . In J. K. al., *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 7 - 27). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Erduran, S., Aduriz-Bravo, A., & Mamlok-Naaman, R. (2005). Developing Epistemologically Empowered Teachers: Examining the Role of Philosophy of Chemistry in Teacher Education. *International History, Philosophy and Science Teaching Conference*, (pp. 1 - 23). Leeds.
- Estany, A., & Izquierdo, M. (1990). La evolución del concepto de afinidad analizada desde el modelo de S. Toulmin. *LLULL*, 13, 349 - 378.
- Estany, A., & Izquierdo, M. (1990). La evolución del concepto de afinidad analizada desde el modelo de Toulmin. *Llull*, 13, 349 - 378.
- Fernández-Carvajalino, J. (2010). *La enseñanza de las teorías de enlace químico como Posibilitadoras para el desarrollo del Pensamiento Crítico (Tesis de Maestría)*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

- Feynman, R. (1965). *The Feynman Lectures on Physics* (Vol. III). (M. Gottlieb, & R. Pfeiffer, Eds.) United States of America: California Institute of Technology.
- Fossey, E., Harvey, C., McDermott, F., & Davidson, L. (2002). Understanding and evaluating qualitative research. *Australian and New Zealand Journal of Psychiatry*, 36, 717–732.
- Frankland, E. (1852). On a New Series of Organic Bodies Containing Metals. *Philosophical Transactions of the Royal Society*(152), 417-444.
- Galache-López, M., & Camacho-Domínguez, E. (1992). Un avance decisivo en el conocimiento de los iones: La teoría de Arrhenius de la disociación electrolítica. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(3), 307-311.
- Galache-López, M., Camacho-Domínguez, E., & Rodríguez-García, A. (1991). Origen histórico del término ión. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(2), 187-192.
- Galagovsky, L., & Adúriz- Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las ciencias*, 231-242.
- Galagovsky, L., & Aduriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de Modelo Didáctico Analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 231 - 242.
- Gallego Badillo, R., Pérez Miranda, R., & Gallego Torres, A. P. (2009). Una aproximación histórico epistemológica a las leyes fundamentales de la Química. *Revista Electronica de Enseñanza de las Ciencias*, 359-374.
- Gallego, R., Pérez, R., Uribe, M. V., Cuellar, L., & Amador, R. (2004). El concepto de Valencia: Su construcción histórica y epistemológica y la importancia de su inclusión en la enseñanza. *Ciencia & Educacion*, 10(3), 571 - 583.
- Gallego-Badillo, R. (2004). Un concepto epistemológico de modelo para la didáctica de las ciencias experimentales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(3), 301 - 319.
- Gallego-Badillo, R., Pérez-Miranda, R., & Gallego-Torres, A. (2009). Una aproximación histórico epistemológica a las leyes fundamentales de la química. *Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias* , 8(1), 359 – 375.

- Garay, F., Marinho-Oki, M., & El-Hani, C. (2011). FILOSOFÍA DE QUÉ? La filosofía de la química como campo emergente de investigación. Análisis y formación. *VII Simpósio Internacional Principia.*, (pp. 1 - 6). Florianopolis.
- Garay-Garay, F., & García-Caro, W. (2012). Átomo : una entidad química no física una aproximación conceptual. *Congreso Internacional de Filosofía e Historia del Cono sur.* Chile.
- García- Franco, A., Garritz, A., & Chamizo, J. (2008). Enlace químico una aproximación constructivista. En *Hacia un cambio conceptual del enlace químico. Propuesta constructivista para mejorar el aprendizaje en bachillerato y licenciatura.* (págs. 93-145). México: Universidad Nacional Autónoma de Mexico.
- García-Franco, A., & Garritz, A. (2006). Desarrollo de una Unidad Didáctica: El estudio del Enlace Químico en el Bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), 111 - 124.
- García-Franco, A., & Garritz, A. (2006). Desarrollo de una Unidad Didáctica: El estudio del Enlace Químico en el Bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), 111-124.
- Gil, D., Fernández, I., Carrascosa, J., Cachapuz, A., & Praia, J. (2001). Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, 7(2), 125-153.
- Gilbert, J. (2004). Models and modelling: routes to more authentic Science Education. *International Journal of Science and Mathematic Education*, 2, 115 - 130.
- Gillespie, R. (2006). El enlace químico y la Geometría Molecular. *Educación química*, 264 - 273.
- Gillespie, R., & Matta, C. (2001). Teaching the VSEPR model and electron densities. *Chemistry Education: Research and practice in Europe*, 2(2), 73-90.
- Gillespie, R., & Robinson, E. (2006). Gilbert N. Lewis and the Chemical Bond: The Electron Pair and the Octet Rule from 1916 to the Present Day. *Journal of Computational Chemistry*, 28(1), 87-96.

- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. (1991). Understanding Models and their use in Science: Conceptions on Middle and High School Students and Experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799 - 822.
- Guevara, M., & Valdez, R. (2004). Los modelos en la enseñanza de la Química: algunas de las dificultades asociadas a su enseñanza y a su aprendizaje. (2. 247, Ed.) *Educación química*, 15(3).
- Hacking, I. (1996). *Representar e intervenir*. Mexico, Buenos Aires, Barcelona: Paidós.
- Harre, R., & Llored, J. (2013). Molecules and mereology. *Foundations of Chemistry*, 15, 127-144.
- Harris, M. (2008). Chemical reductionism revisited: Lewis, Pauling and the physico-chemical nature of the chemical bond. *Studies in History and Philosophy of Science*, 39, 78-90.
- Hendry, R. (2006). Substantial confusion. *Studies in History and Philosophy of Science*, 37, 322-336.
- Henry, J. (2008). Isaac Newton: science and religion in the unity of his thought. 69 - 101.
- Herreño, J., Gallego, R., & Pérez, R. (2010). Transposición didáctica del modelo científico de Lewis - Langmuir. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(2), 527-543.
- Herreño-Chaves, J. (2009). *La transposición didáctica del modelo del octeto de Lewis-Langmuir en los libros de texto (Tesis de Maestría)*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Hoffmann, R., & Lazlo, P. (1991). Representation in chemistry. *Angewandte Chemie International Edition in English*, 30(1), 1 - 16.
- Holmes, F. (1997). What was the Chemical Revolution About? *Bull. Hist. Chem.*, 20, 1-9.
- Hoyningen-Huene, P. (1998). Kuhn and the chemical revolution. *Prospettive della logica e della filosofia della Scienza* (pp. 483-498). Roma: Edizioni ETS.

- Izquierdo, M. (2004). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: contextualizar y modelizar. *The journal of the Argentine Chemical Society*, 92(4/6), 115 – 136.
- Izquierdo, M. (2004). Un nuevo enfoque en la enseñanza de la química: Contextualizar y modelizar. *The journal of the Argentine Chemical Society*, 92(4/6), 115 - 136.
- Izquierdo, M. (2010). La transformación del átomo químico en una partícula física. ¿Se puede realizar el proceso inverso? In J. A. Chamizo, *Historia y Filosofía de la Química. Aportes para la Enseñanza* (pp. 169 - 192). México: Siglo XXI Editores.
- Izquierdo, M. A. (2004). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: Contextualizar y Modelizar. *The Journal of the Argentine Chemical Society*, 115-136.
- Izquierdo, M., & Aduriz-Bravo, A. (2005). Los modelos teóricos para la ciencia escolar. Un ejemplo de química. *Enseñanza de las Ciencias. VII Congreso, Número Extra*, págs. 1 - 4.
- Izquierdo, M., Sanmartí, N., & Estaña, J. (1999). Fundamentación y diseño de las practicas escolares de ciencias experimentales. *Rev. Enseñanza de las ciencias* , 45-59.
- Jacob, C. (2001). Analysis and Synthesis. Interdependent Operations in Chemical Language and Practice. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 7(1), 31-50.
- Jaimes-Espinoza, R. (2004). *Historia de la química enfocada en el átomo y el enlace*. Mérida, Venezuela: CELCIEC-UULA.
- Jensen, F. (2007). *Introduction to Computational Chemistry*. Londres: Jhon Wiley Y Son Ltda.
- Jensen, W. (1984). Abegg, Lewis, Langmuir and the Octet Rule. *Journal of Chemical Education*, 61(2), 101 - 110.
- Jensen, W. (1998). Logic, history and the chemistry textbook III. One chemical revolution or three? *Journal of Chemical Education*, 75(8), 961– 969.
- Jensen, W. (1998). Logic, History and the Chemistry Textbook I. Does chemistry have a logical structure? *Journal of Chemical Education*, 75(6), 679 - 687.

- Jensen, W. (1998). Logic, History, and the Chemistry Textbook III: One Chemical Revolution or Three? *Journal of Chemical Education*, 75(8), 961-969.
- Jensen, W. (2003). Electronegativity from Avogadro to Pauling: II. Late Nineteenth- and Early Twentieth-Century Developments. *Journal of Chemical Education*, 80(3), 279-287.
- Jensen, W. (2012). When Was Electronegativity First Quantified? I. *Journal of Chemical Education*, 88, 94-96.
- Johnstone, A. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75-83.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las ciencias*, 173-184.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de la ciencia basada en modelos. *Enseñanza de las ciencias*, 24(2), 173 - 184.
- Katz, M. (2011). John Dalton y la teoría atómica.
- Katz, M. (s.f.). Robert Boyle y el concepto de elemento.
- Katz, M. (s.f.). *Robert Boyle y el concepto de elemento*. Recuperado el 27 de 12 de 2012, de Las páginas de Rubén Labato: http://www.rlabato.com/isp/qui/boyle_concepto_elemento.pdf
- Kemmis, S. (2007). Action Research as a Practice-Changing Practice. *Spanish Collaborative Action Research Network (CARN) Conference* (pp. 18-20). Valladolid, España: University of Valladolid.
- Kind, V. (2004). *Más allá de las Apariencias Ideas Previas de los Estudiantes sobre Conceptos Básicos de Química*. Mexico: Aula XXI, Santillna.
- Kolandaivel, P., Venuvanalingam, P., & Narahari-Sastry, G. (2009). Quantum Chemistry of Bonding and Interactions. In C. Pratim, *Chemical Reactivity Theory. A density Functional View* (pp. 23 - 37). Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Kossel, W. (1916). Molecule Formation as a Question of Atomic Structure. *Annalen der Physik*, 4(49), 229-362.

- Kraka, E., & Cremer, D. (1992). Description of chemical reactions in terms of the properties of electron density. *Journal of Molecular Structure (Theochem)*, 255, 189-206.
- Kuhn, T. (1962). *La estructura de las Revoluciones Científicas*. México, DF.: Fondo de Cultura Económica.
- Kuhn, T. (1971). *La estructura de las Revoluciones Científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Labarca, M. (2005). la Filosofía de la Química en la Filosofía de la Ciencia Contemporánea. *Red de Revistas Científicas de America Latina y el Caribe. España y Portugal*, 155-171.
- Labarca, M. (2005). La filosofía de la química en la filosofía de la ciencia contemporánea. *Redes*, 11(021), 155 - 171.
- Langmuir, I. (1919). The Structure of Atoms and the Octet Theory of Valence. *Journal of American Chemical Society*, V(252).
- Leach, M. (2013). Concerning electronegativity as a basic elemental property and why the periodic table is usually represented in its medium form. *Foundations of Chemistry*, 15, 13-29.
- Leal, W., Restrepo, G., & Bernal, A. (2012). A Network Study of Chemical Elements: From Binary Compounds to Chemical Trends. *MATCH: Communications in Mathematical and in Computer Chemistry*, 68, 417 - 442.
- Lewis, G. (1916). The atom and the molecule. *Journal of the American Chemical Society*, 38(4), 762-785.
- Ley, S. (2005). Development of methods suitable for natural product synthesis: The azadirachtin story. *Pure and Applied Chemistry*, 77(7), 1115–1130.
- Llored, J. (2012). Emergence and quantum chemistry. *Foundations of Chemistry*, 14, 245-274.
- Llorens, J. A. (1991). *Comenzando a aprender química*. Madrid: Visor Distribuciones S.A.
- Lockemann, G. (1960). *historia de la química*. Mexico DF: hispano americana.

- Lombardi, O. (2011). Los modelos como mediadores entre teoría y realidad. En L. Galagovsky, *Didáctica de las Ciencias Naturales: El caso de los modelos científicos*. (págs. 83 - 93). Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Lombardi, O., & Labarca, M. (2007). The Philosophy of Chemistry as a New Resource for Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 84(1), 187 - 192.
- Lombardi, O., & Labarca, M. (2010). Acerca del status ontológico de las especies químicas: El caso de los orbitales atómicos. *Principia*, 14(3), 309 – 333.
- Lombardi, O., & Martínez-González, J. C. (2012). Entre mecánica cuántica y estructuras químicas: ¿a qué refiere la química cuántica? *Scientiae Studia*, 10(4), 649 - 670.
- Lombardi, O., & Pérez, A. (2010). En defensa de la autonomía de la química frente a la física. Discusión de un problema filosófico. In J. A. Chamizo, *Historia y Filosofía de la Química. Aportes para su enseñanza* (pp. 195 – 210). México DF: UNAM-SigloXXI.
- Losada. (1941). Giordano Bruno De la causa, principio y uno. Buenos Aires.
- Martinez, M. L. (2005). El realismo científico de Ian Hacking: De los electrones a las enfermedades mentales transitorias. *Red de revistas científicas de America Latina y el Caribe, España y Portugal*, 153-176.
- Martínez-Gonzalez, J. (2012 jul 26-05). *¿Puede sobrevivir la estructura química al debate de las teorías mecánico cuánticas del enlace químico?* From WordPress: <http://jifa.files.wordpress.com/2012/01/martinez-gonzalez-juan-camilo.pdf>
- Matta, C., & Gillespie, R. (2002). Understanding and Interpreting Molecular Electron Density Distributions. *Journal of Chemical Education*, 79(9), 1141 - 1152.
- Matus-Leites, L., Benarroch, A., & Perales-Palacios, F. (2008). Las imágenes sobre enlace químico usadas en los libros de texto de educación secundaria. Análisis desde los resultados de la investigación educativa. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(2), 154-174.
- McEvoy, J. (2008). Disciplinary Identity and the Chemical Revolution. In D. T. José Ramón Bertomeu-Sánchez (Ed.), *Neighbours and Territories: The Evolving*

Identity of Chemistry (Proceedings of the 6th International Conference on the History of Chemistry), (pp. 307 - 317). Louvain-la-neuve.

- McMurry, J. (2004). *Química Orgánica* (Sexta ed.). México, México: Thomson.
- Moreira, M. (2002). Investigación y Educación en Ciencias: Métodos Cualitativos. *PIDEC*, 4, pp. 25-55. Porto Alegre, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Moreno-Amado, M. (2009). *Transposición Didáctica de los Modelos Moleculares de Walther Kossel, Gilbert Newton y Linus Carl Pauling*. (Tesis de maestría). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Morrison, M., & Morgan, M. (1999). Models and mediating instruments. En M. Morrison, & M. Morgan, *Models and mediators* (págs. 10 - 37). Cambridge: Cambridge University Press.
- Mulliken, R. (1978). Chemical Bonding. *American Review Physic Chemistry*, 29, 1-30.
- 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*. From Universidad Nacional Autónoma de Mexico: <http://132.248.9.195/ptb2011/enero/0665732/>
- Needham, P. (2014). The source of chemical bonding. *Studies in History and Philosophy of Science*, 45, 1-13.
- Newton Smith, W. (2003). Observation, Theory and Truth. En W. Newton Smith, *The rationality of science* (págs. 39-43). Londres y Nueva York: Routledge, Taylor y Francis group.
- Newton, I. (1977). *Optica o tratado de las reflexiones, inflexiones y colores de la luz*. (C. S. Santos, Trans.) Madrid, España: Alfaguara.
- Ogilvie, J. (2012). La naturaleza del enlace químico 2013 ¡No existe tal cosa llamada orbital! *Ciencia y Tecnología*, 28(1 y 2), 25-54.
- Paneth, F. (2003). The epistemological status of the chemical concept of element. *Foundations of Chemistry*, 113 - 145.

- Paneth, F. (2003). The epistemological status of the chemical concept of element. *Foundations of Chemistry*(5), 113 - 145.
- Park, B. (2000). The Contexts of Simultaneous Discovery: Slater, Pauling, and the Origins of Hybridisation. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 31(4), 451-474.
- Pauling, L. (1928). The Shared-Electron Chemical Bond. *National Academy of Sciences*, 14(4), 359-362.
- Pauling, L. (1931). The nature of Chemical Bond. Application of Results Obtained from the Quantum Mechanics and from a Theory of Paramagnetic Susceptibility to the Structure of Molecules. *Journal of American Chemical Society*, 53(4), 1367-1400.
- Pauling, L. (1932). The Nature of Chemical Bond III. The Transition from one extreme bond type to another. *Journal of American Chemical Society*, 54(3), 998-1003.
- Pauling, L. (1932). The Nature of Chemical Bond IV. The Energy of Single Bonds and the Relative Electronegativity of Atoms. *Journal of American Chemical Society*, 54(9), 3570-3582.
- Pauling, L., & Wheland, G. (1933). The Nature of the Chemical Bond. V. The Quantum - Mechanical Calculation of the Resonance Energy of Benzene and Naphthalene and the Hydrocarbon Free Radicals. *Journal of Chemical Physics*, 1(6), 362-374.
- Pozo, J.L., & Gómez, M. (2004). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid, España: Ediciones Morata.
- Putz, M. (2008). Density Functionals of Chemical Bonding. *International Journal of Molecular Sciences*, 9, 1050-1095.
- Raviolo. (2009). Modelos analogías y metáforas en la enseñanza de la química. *Educación química*, 55-60.
- Raviolo, A., Garriz, A., & Sosa, P. (2011). Sustancia y Reacción Química como Conceptos Centrales en Química. Una discusión Conceptual, Histórica y Didáctica. *Eureka*, 240-254.

- Reyes, F., & Garritz, A. (2006). Conocimiento Pedagógico del Concepto de Reacción Química en Profesores Universitarios Mexicanos. *Red*, 1175-1205.
- Reyes, G. M. (s.f.). La química de Dalton .
- Rocha Herrera, L. (10 de 04 de 2004). *Descartes y el significado de la Filosofía Mecanicista*. Recuperado el 28 de 12 de 2012, de Coordinación de Publicaciones Digitales. DGSCA - UNAM: <http://www.revista.unam.mx/vol.5/num3/art19/art19.htm>
- Rocha, L. (2004). Descartes y el significado de la filosofía mecanicista. *revista digital universitaria UNAM*.
- Sampieri, C. R. (2012). Eter, Materia y movimiento en la filosofía Natural de Rene Descartes. *Stoa*, 119-137.
- Sampieri-Cabal, R. (2012). Éter, materia y movimiento en la filosofía natural de René Descartes. *Stoa*, 119 - 137.
- Sanmartí, N., & Izquierdo, M. (1997). Reflexiones en torno a un modelo de ciencia escolar. *Investigación en la escuela*, 51-62.
- Sapieri, R. (2012). Eter, materia y movimiento en la filosofía natural de Rene Descartes. 119 - 137.
- Scerri, E. (2001). The New Philosophy of Chemistry and its Relevance to Chemical Education. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2(2), 165 - 170.
- Schofield, R. (s.f.). El atomismo de Newton a Dalton.
- Schofield, R. (s.f.). *El atomismo de Newton a Dalton*. (P. U. Javeriana, Ed.) Recuperado el 27 de 12 de 2012, de Historia y Filosofía de la Ciencia: <http://pioneros.puj.edu.co/lecturas/iniciados/EL%20ATOMISMO%20DE%20NEWTON%20A%20DALTON.pdf>
- Schummer, J. (1998). The Chemical core of Chemistry I. *HYLE--International Journal for Philosophy of Chemistry*, 4(2), 129 - 162.
- Schummer, J. (1999). Coping with the Growth of Chemical Knowledge. Challenges for Chemistry Documentation, Education, and Working Chemists. *Educación química*, 10(2), 92 - 101.

- Schummer, J. (2008). Matter versus Form, and Beyond. In K. R. Brakel, *Stuff: The Nature of Chemical Substances* (pp. 3-18). Würzburg: Königshausen & Neumann.
- Schummer, J. (2010). Philosophy of Chemistry. In F. Allhoff, *Philosophies of the Sciences A Guide* (pp. 163 - 184). Singapore: Blackwell Publishing Ltd.
- Shaik, S. (2006). The Lewis Legacy: The Chemical Bond—A Territory and Heartland of Chemistry. *Journal of Computational Chemistry*, 28(1), 51-61.
- Snobelen, S. D. (s.f.). La luz de la naturaleza: Dios y la filosofía natural en la optica de Isaac Newton. 117 - 150.
- Solis, C. (1985). La filosofía mecánico corpuscular. . En R. Boyle, *Física, química y filosofía mecánica* (págs. 185 - 244). Madrid: Alianza Editorial.
- Solís, S. C. (1985). *Robert Boyle: Física, Química y Filisofía Mecanica*. Madrid: Alianza Editorial.
- Stains, M., & Talanquer, V. (2007). Classification of Chemical Substances Using Particulate Representations of Matter: An Analysis of Student Thinking. *International Journal of Science Education*, 29(7), 643 - 661.
- Taber, K. (2001). Building the Structural Concepts of Chemistry: Some Considerations From Educational Research. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2(2), 123-158.
- Taber, K. (2001). Constructing Chemical Concepts in the Classroom?: Using research to inform practice. *Chemistry Education: Research an Practice in Europe*, 2(1), 43-51.
- Talanquer, V. (2004). Formación docente: ¿Qué conocimiento distingue a los buenos maestros de química? *Educación química*, 15(1), 60 - 66.
- Talanquer, V. (2009). Química: ¿Quién eres, a dónde vas y cómo te alcanzamos? *Rev. Educación Química. Facultad de Química, UNAM.*, 220-226.
- Talanquer, V. (2010). "Química agazapada". En: Chamizo J. A. (coord.), *Historia y Filosofía de la Química*. México: UNAM Siglo XXI.
- Talanquer, V. (2010). Química agazapada. En J. A. Chamizo, *Historia y Filosofía de la Química* (págs. 142 - 157). México: Siglo XXI.

- Talanquer, V. (2010). Química agazapada. In J. A. Chamizo, *Historia y Filosofía de la Química. Aportes para su enseñanza* (pp. 142 – 156). México DF: UNAM-SigloXXI.
- Talanquer, V. (2011). Macro, submicro and symbolic: The many faces of the chemistry "triplet". *International Journal of Science Education*, 33(2), 179 - 195.
- Tontini, A. (2004). On the limits of the chemical knowledge. *HYLE - International Journal of Philosophy of Chemistry*, 10(1), 23 - 46.
- Urbina, S., Gallego, R., Perez, R., & Gallego, A. (2008). Una Construcción histórico-epistemológica del modelo del octeto para el enlace químico. *TEA*, 52-66.
- Urbina, S., Gallego, R., Pérez, R., & Gallego, A. (2008). Una construcción histórico-epistemológica del modelo del octeto para el enlace químico. *TED*, 23(1), 52-66.
- Urbina-Duarte, S. (2007). *Modelación del enlace químico de Lewis en décimo grado de educación media (Tesis de Maestría)*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- van Brakel, J. (1997). Chemistry as the Science of the transformation of substances. *Synthese*, 111, 253 - 282.
- Van Brakel, J. (1997). CHEMISTRY AS THE SCIENCE OF THE TRANSFORMATION OF SUBSTANCES. *kluver Academic Publisher*, 253-282.
- Vemulapalli, G. (2008). Theories of the chemical bond and its true nature. *Foundations of Chemistry*, 10, 167-176.
- Viau, J., Moro, L., Zamorano, R., & Gibbs, H. (2008). La transferencia epistemológica de un modelo didáctico analógico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(002), 170- 184.
- Vigotsky, L. (1995). *"Pensamiento y lenguaje" Traducción de Alex Kozulin*. Barcelona: Paidós.
- Villaveces, J. L. (2000). Química y epistemología, una relación esquivada. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, 1(2-3), 9 - 26.

- Villaveces, J. L. (2001). *La Enseñanza de la Estructura de los Átomos y las Moléculas*. Retrieved 2014 йил 5-10 from Red Académica: http://www.pedagogica.edu.co/storage/ted/articulos/ted09_14arti.pdf
- Villaveces, J., Cubillos, G., & Andrade, E. (1989). Del Sustancialismo al Atomismo en la Química. En J. Villaveces, F. Poveda, & G. Cubillos, *Hacia una historia epistemológica de la química* (págs. 53 - 62). Bogotá: Guadalupe Ltda.
- Vizguin, V. (1993). Revolución química: Factores de retraso. *Llull*, 16, 621 - 639.
- Weinhold, F., & Landis, C. (2001). Natural Bond Orbitals and Extensions of Localized Bonding Concepts. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2(2), 91 - 104.
- Weisberg, M. (2006). Challenges to the Structural Conception of Chemical Bonding. *Philosophy of Science Assoc. 20th Biennial Mtg* (pp. 1 - 20). Vancouver: PSA Symposia.
- Zamorano, R., Gibbs, H., Viau, J., & Moro, L. (2006). Formación de Profesores: Estrategias de Modelado Didáctico en la Enseñanza de las Ciencias Experimentales. *Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa*, 1(4), 1 - 12.
- Zeidler, P. (2000). The Epistemological Status of Theoretical Models of Molecular Structure. *Hyle - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 6(1), 17 - 34.

ANEXOS

Construcción del modelo de enlace químico, caracterizando las formas de significar en química. Una intervención en el aula.

INSTRUMENTO 1 Conocimientos Previos

Nombres: _____

1. Desde lo que has aprendido en química ¿Qué significado tiene para usted el enlace Químico?

2. Desde lo que has aprendido en química ¿Qué significado tiene para usted el enlace iónico?

3. Desde lo que has aprendido en química ¿Qué significado tiene para usted el enlace covalente?

4. Nombra otros conceptos que consideras importantes para explicar la formación de los enlaces químicos?

5. ¿Por qué son importantes estos conceptos, para explicar el enlace químico?

Construcción del modelo de enlace químico, caracterizando las formas de significar en química. Una intervención en el aula.

INSTRUMENTO 2
¿Qué hay en la caja?

Nombres:

Instrucciones: Cuentan con 20 minutos para realizar la actividad.

1. Representen, dibujando lo que hay en la caja.

2. Explique los motivos por lo que dibujaron lo anterior.

3. Describan detalladamente lo que hay en la caja.

4. Realiza una comparación del dibujo realizado (modelo) con lo que hay en la caja (realidad). Identifica las similitudes y diferencias que encuentren entre ellos.

MODELO	REALIDAD

Construcción del modelo de enlace químico, caracterizando las formas de significar en química. Una intervención en el aula.

INSTRUMENTO 3

La Modelación en la Ciencia y en la Ciencia Escolar

Nombres: _____

1. ¿Qué entiende por analogía? Ejemplifique

2. Mencione y ejemplifique tres tipos de modelos (que no se mencionen en el texto) que se relacionen con la química.

3. Con tus palabras, indica la razón por lo que se construyen los modelos.

4. ¿Cuál es el objetivo de los modelos didácticos?

5.

6. Reflexiona con tus compañeros: ¿Cómo es que las personas modelamos?

7. Realiza un diagrama en donde sean evidentes los pasos o etapas implicadas en este proceso.

Gracias por su Colaboración.

Construcción del modelo de enlace químico, caracterizando las formas de significar en química. Una intervención en el aula.

INSTRUMENTO 4

¿Serán iguales?

Nombres: _____

1. Coloquen un poco de cada sustancia cristalina por separado en las cajas de Petri o vidrios de reloj. Obsérvenlos por medio de lupas u otros instrumentos de aumento y registren sus observaciones en la siguiente tabla. Tiempo de la actividad 5 minutos.

Sustancia	Dibujo de los cristales	Descripción de características
Cloruro de Sodio NaCl		
Sacarosa C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁		

2. ¿Qué parecido tienen entre sí estas dos sustancias?

3. ¿En qué son diferentes?

4. ¿Qué comportamiento tendrá una solución de cloruro de sodio en agua cuando se prueba con un circuito eléctrico? ¿Se prenderá el foco? ¿Por qué?

5. ¿Qué comportamiento tendrá una solución de azúcar cuando se pruebe en ella el aparato para determinar la conductividad eléctrica? ¿Se prenderá el foco? ¿Por qué?

6. ¿Cuáles aspectos relevantes pueden considerarse entre las dos experiencias?

7. Construya un modelo material (es decir un dibujo) que explique para cada sustancia disuelta por qué conduce la corriente eléctrica y la otra no

Disolución de sal en agua	Disolución de azúcar en agua

--	--

Construcción del modelo de enlace químico, caracterizando las formas de significar en química. Una intervención en el aula.

INSTRUMENTO 5

Las sustancias iónicas y las sustancias Covalentes.

Nombres: _____

1. *Luego de las actividades realizadas, profundizaciones, las explicaciones de la docente frente al concepto de enlace químico y los modelos propuestos para explicar cómo se combinan las especies químicas ¿Qué significado tiene para usted el enlace Químico?*

2. *¿Qué significado adquiere para usted el enlace iónico?*

3. *¿Qué significado le da usted al enlace covalente?*

4. *¿Qué otros conceptos consideras importantes para explicar la formación de los enlaces químicos?*

químico.

5. *Lee atentamente la siguiente situación:*

*El Níquel presenta una electronegatividad de **1,91** y el Oxígeno de **3,41**, por tanto en la formación del óxido de níquel (II), NiO, la diferencia de electronegatividad corresponde a **1,5**. Bajo este argumento se podría decir que este óxido presenta un enlace covalente, sin embargo a nivel experimental, el óxido de níquel (II) es un cristal de color pardo oscuro, con punto de fusión de 1955°C, presentando características de un enlace iónico. ¿Cuál será el tipo de enlace más adecuado para explicar la estructura del NiO? ¿Por qué?*

6. ¿Es importante la electronegatividad en la formación de los enlaces químicos? ¿Es posible siempre clasificar el tipo de enlace de una sustancia teniendo en cuenta solo este criterio?

En grupo de tres personas, realicen una reflexión del trabajo realizado para comprender el concepto de enlace químico y el proceso de modelación y respondan las preguntas 7 y 8.

7. ¿Qué consideras que aprendiste frente al trabajo desarrollado para explicar el concepto de enlace químico?

8. Observa la siguiente imagen y determina su significado.

