



## **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO**

**MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR  
CAMPO DE CONOCIMIENTO QUÍMICA**

### **PROPUESTA Y EVALUACIÓN DE UN MODELO DE PROGRESIÓN DE APRENDIZAJE SOBRE ENLACE QUÍMICO PARA EL BACHILLERATO**

**TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR**

**PRESENTA  
ANA GUADALUPE NAVARRETE CERVANTES**

**TUTORA:  
DRA. GLINDA IRAZOQUE PALAZUELOS  
FACULTAD DE QUÍMICA**

**MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:  
DRA. FLOR DE MARÍA REYES CÁRDENAS  
DR. PLINIO JESÚS SOSA FERNÁNDEZ**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX, FEBRERO, 2021**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Agradecimientos y Dedicatorias**

*A la Universidad Nacional Autónoma de México, institución que me ha formado como profesionalista y me ha enseñado la importancia de la enseñanza aprendizaje.*

*Al programa de la Maestría en Docencia para la Educación Media Superior, por la oportunidad de poder conocer y profundizar en la dimensión educativa.*

*A la Facultad de Química por brindarme conocimiento y buenas oportunidades.*

*A mi tutora, Dra. Glinda Irazoque, por toda la ayuda brindada y por haber sido una guía en todo el proceso de la maestría.*

*A todos los miembros del jurado, Dr. Plinio Sosa, Dra. Flor Reyes, Dra. Leticia Gallegos y Dr. Adolfo Obaya, por haber revisado mi trabajo y de quienes recibí su apoyo para lograrlo.*

*A todos los profesores del bachillerato que me ayudaron a completar el trabajo de investigación .*

*A la Dra. Mariana Esquivelzeta por dejarme formar parte de sus grupos para práctica docente y por todo su apoyo y conocimientos brindados.*

*A mis papás, Tere Cervantes y Enrique Navarrete, por acompañarme en este proceso y por ser un ejemplo a seguir.*

*A mi hermana, Tere, por demostrarme todo su apoyo en todos los procesos de esta etapa y su amor incondicional.*

*A mis amigas, Valeria y Diana, por su amistad, confianza y apoyo incondicional.*

## ÍNDICE

Resumen	6
Abstract	7
Introducción.	8
1. Marco teórico	9
1.1 Progresión de aprendizaje	9
1.2 ¿Qué son las grandes ideas?	12
1.3 El Modelo de Enlace Químico. Retos y propuestas sobre su enseñanza aprendizaje.	17
2. Objetivos y planteamiento del problema	21
3. Metodología y diseño de investigación	22
3.1 Construcción del modelo de progresión de aprendizaje para el modelo de enlace químico a nivel bachillerato.	22
3.2 Evaluación del modelo de progresión de aprendizaje.	25
3.3 Elaboración de herramientas de evaluación enfocados en los tres momentos de instrucción del bachillerato.	25
4. Resultados	28
4.1 Revisión y análisis de planes de estudio	28
4.2 Análisis de libros de texto	32
4.3 Construcción de ideas centrales	39
4.4 Propuesta de un modelo de progresión de aprendizaje para el tema de enlace químico en el bachillerato	41
4.5 herramientas de evaluación para el modelo de progresión de aprendizaje y su análisis	51
5. Análisis de resultados y conclusiones	71
Fuentes de consulta	73

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Aspectos terminológicos para el modelo de enlace químico.

Cuadro 2. Aprendizajes esperados para cada nivel educativo en torno al enlace químico planteados por el CCH y la ENP de la UNAM.

Cuadro 3. Rúbrica para puntualizar los aspectos relevantes del modelo de enlace químico.

Cuadro 4. Cuestionario de la primera evaluación. Corresponde al inicio de la progresión; ingreso al primer curso de química en el bachillerato.

Cuadro 5. Puntaje promedio de cada número de la escala Likert para la primera pregunta de acuerdo con su nivel de conformidad. (1: totalmente en desacuerdo, 5: totalmente de acuerdo).

Cuadro 6. Puntaje promedio de cada número de la escala Likert para la segunda pregunta de acuerdo con su nivel de conformidad. (1: totalmente en desacuerdo, 5: totalmente de acuerdo).

Cuadro 7. Evaluación correspondiente al segundo momento de la progresión de aprendizaje: Se sugiere aplicar al finalizar el primer año (2 semestres si es CCH) de química del bachillerato.

Cuadro 8. Puntaje promedio de cada número de la escala Likert para la primer pregunta de acuerdo a su nivel de conformidad en segunda herramienta de evaluación. (1: totalmente en desacuerdo, 5: totalmente de acuerdo).

Cuadro 9. Puntaje promedio de cada número de la escala Likert para la segunda pregunta de acuerdo a su nivel de conformidad para la segunda herramienta de evaluación . (1: totalmente en desacuerdo, 5: totalmente de acuerdo).

Cuadro 10. Evaluación correspondiente al tercer momento de la progresión de aprendizaje: al terminar el segundo año (dos semestres si es CCH) de química del bachillerato.

Cuadro 11. Puntaje promedio de cada número de la escala Likert para la primer pregunta de acuerdo a su nivel de conformidad en la tercera herramienta de evaluación. (1: totalmente en desacuerdo, 5: totalmente de acuerdo) .

Cuadro 12. Puntaje promedio de cada número de la escala Likert para la primera pregunta de acuerdo con su nivel de conformidad en la tercera herramienta de evaluación. (1: totalmente en desacuerdo, 5: totalmente de acuerdo).

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Construcción de la big idea: Alrededor de la big idea hay una serie de ideas centrales que están de manera consecutiva.

Figura 2. Big ideas propuestas por Vicente Talanquer.

Figura 3. Procedimiento llevado a cabo para la construcción del modelo propuesto de progresión de aprendizaje.

Figura 4. Búsqueda documental.

Figura 5. Metodología realizada para el diseño, aplicación e interpretación de las herramientas de evaluación del modelo de progresión de aprendizaje propuesto.

Figura 6. Capítulo 1 *Enlace iónico*.

Figura 7. Capítulo 2 *Enlace covalente*.

Figura 8. Capítulo 3 *Enlace metálico*.

Figura 9. Unidad II *Materiales*.

Figura 10. Unidad IV *Petróleo: Rompimiento y formación de enlaces*.

Figura 11. Construcción de preguntas alrededor de las ideas centrales para la gran idea de enlace químico.

Figura 12. Primera parte del modelo de progresión de aprendizaje.

Figura 13. Segunda parte del modelo de progresión de aprendizaje.

Figura 14. Tercera parte de la progresión de aprendizaje: Salida del último año de bachillerato.

## RESUMEN

El modelo de enlace químico es una de las big ideas en la química, sin embargo se ha documentado en la investigación educativa que los conceptos que construyen esa idea han resultado ser complejos en la enseñanza del tema, pues se necesita desarrollar la habilidad de abstracción por parte de los estudiantes para su entendimiento. Es por ello que en este trabajo se ha propuesto un modelo de progresión de aprendizaje en torno al enlace químico para el bachillerato, este modelo identifica un conjunto de ideas centrales necesarias que conforman el andamiaje de esta big idea, Y con esto se propone un cambio en la estrategia docente y curricular. Además se diseñaron y aplicaron tres herramientas de evaluación, con el propósito de que un grupo de 18 profesores que imparten la materia de química en los distintos subsistemas del nivel medio superior revisaran y dieran su opinión sobre dichas evaluaciones para sus alumnos; teniendo en cuenta que los reactivos de cada evaluación están diseñados desde el modelo propuesto. A partir de todo este trabajo se concluye acerca de la importancia de las ideas centrales que se generan en el modelo de progresión de aprendizaje, así como la pertinencia del modelo para su utilización en la didáctica de la química.

## **Abstract**

*The chemical bond model is one of the big ideas in chemistry, however it has been documented in educational research that the concepts that make up this idea have turned out to be complex in teaching since it is necessary to develop the ability of abstraction by part of the students for their understanding. That is why in this work a learning progression model has been proposed around the chemical bond for high school, this model identifies a set of central ideas that make up the scaffolding of this big idea, and with this is proposed a different perspective in the teaching and curricular strategy. In addition, three evaluation tools were designed and applied, with the purpose that a group of 18 teachers who teach the subject of chemistry in the different subsystems of the upper secondary level would review and give their opinion on evaluations for their students; taking into account that the reagents of each evaluation are designed from the proposed model. From all this work it is concluded the importance of the central ideas that are generated in the learning progression model, as well as the relevance of the model for its use in chemistry didactics.*

## **INTRODUCCIÓN.**

La idea del enlace químico implica la relación entre la interacción, estructura, propiedades y función de la materia. Esta idea es de importancia en la disciplina a lo largo del bachillerato puesto que ayuda a comprender el comportamiento de los materiales que nos rodean. Por ello es importante que se tenga un andamiaje para su comprensión en la enseñanza aprendizaje en la química; y los modelos de progresión de aprendizaje ayudan a generar dicha resolución. Dichos modelos describen el entendimiento sobre algún tema para que los estudiantes lo vayan construyendo a lo largo de un periodo de tiempo; y han sido propuestos para ayudar en el proceso de la enseñanza aprendizaje, además de que pueden servir como una guía para la planeación didáctica de los docentes. Actualmente se han propuesto algunos modelos de progresión de aprendizaje en química, por ejemplo para modelo cinético corpuscular, sin embargo aún no se ha tenido alguno descrito sobre enlace químico; y por ello en este trabajo se propone un modelo para dicha big idea.

## **1. Marco teórico**

### **1.1 Progresión de aprendizaje**

Las progresiones de aprendizaje (PA) son un tema reciente en la investigación educativa, por lo que se suele tener confusiones al respecto de su naturaleza y estructura. En el 2006 un grupo de panelistas de la universidad de Columbia en los Estados Unidos llegaron al acuerdo de trabajar en una definición que las distinga, de este modo fueron identificadas como: “descripciones hipotéticas de las maneras sucesivas en cómo piensan y aprenden los estudiantes acerca de un dominio científico en el desarrollo de prácticas científicas” (Corcoran, 2009). Gran parte de las progresiones de aprendizaje están en sus inicios y los modelos actuales son conjeturas, sin embargo, ofrecen un punto de partida productivo para desarrollar estándares, planes de estudio, evaluaciones, etc.

El término progresiones de aprendizaje (P.A) está definido como modelos educativos que describen la manera en que los estudiantes van construyendo, conforme avanza el tiempo de instrucción, conceptos alrededor de alguna de las grandes ideas de una disciplina (Talanquer, 2013). Se refieren a cómo cambian los conceptos específicos o generales dentro de una disciplina, por ejemplo, en Física una idea importante a desarrollar es el “movimiento”, en la Biología podría ser la idea de “evolución” y en la química una gran idea podría ser “enlace químico”; para que el estudiante llegue a desarrollar esa gran idea en la ciencia, las ideas que la rodean tendrá que ir evolucionando conforme se avanza en un curso y niveles disciplinares.

Las progresiones de aprendizaje se consideran como una estrategia prometedora para el rediseño de los planes de estudios o de la instrucción ya que puede ayudar al docente para que se guíe en su instrucción, además el interés en la investigación de estas progresiones ha representado un cambio en el énfasis de la enseñanza comúnmente dividida en unidades o bloques de instrucción independientes (Duschl, 2011). También son consideradas como hipótesis empíricamente verificables y comprobables sobre cómo la comprensión y capacidad de uso de los estudiantes sobre explicaciones crecen y se vuelven más sofisticadas con el tiempo (Corcoran, 2009).

En un principio las progresiones de aprendizaje surgieron en los Estados Unidos de América cuando se realizaron las reformas educativas con base en estándares, donde el objetivo era reducir contenido del currículo y enfocarse en ideas centrales de la disciplina, así como proveer una progresión que facilitara una coherencia entre cada idea durante un curso escolar. En el año 2011, al surgir estas reformas surge el programa “*Next Generation Science*

*Standards*" (NGSS), los estándares propuestos se centran en una visión basada en la indagación, proponiendo que la ciencia tenga o vaya hacia la construcción del conocimiento y están integrados en progresiones de aprendizaje para que haya coherencia entre la evolución conceptual del razonamiento científico para cada nivel disciplinar (Duncan, 2013).

Las metodologías que han sido desarrolladas para elaborar una progresión de aprendizaje están centradas en investigaciones sobre cómo los estudiantes llegan a comprender ideas esenciales de las ciencias: biología, química o física. Se profundiza la construcción de una "gran idea" que construya el campo del conocimiento en sí; y se va desarrollando mayor complejidad y rigor epistemológico en cada aprendizaje conforme se va avanzando en los niveles de instrucción, es importante considerar los pilares necesario que se necesitan para pasar al siguiente nivel disciplinar. Los pasos intermedios para el desarrollo de una progresión consisten en la identificación de las ideas que varían en el conocimiento canónico de la ciencia, con el fin de darle continuidad a la gran idea y así evitar que se hagan "peldaños" entre cada nivel (Duncan, 2013). Además, se basan en investigaciones sobre cómo progresan los aprendizajes de los estudiantes, y se pueden poner a prueba para asegurar su validez de constructo (Corcoran, 2009).

Para fines de este estudio de investigación, se toma como punto de partida la definición de progresión de aprendizaje que propone Talanquer (2013), quien menciona y remarca cómo las progresiones de aprendizaje tienen la ventaja de favorecer un aprendizaje coherente, le facilitan al docente el desarrollar secuencias didácticas que le permitan, entre otras cosas, reconocer las concepciones alternativas de los estudiantes y propician la construcción de evaluaciones con las cuales identificar de manera más certera, el nivel de progreso alcanzado por los alumnos en las diversas etapas educativas (Talanquer, 2013).

Ya existen progresiones de aprendizaje documentadas para algunas de las grandes ideas de las diversas disciplinas. Para la física, a nivel básico y medio superior existe la progresión de aprendizaje sobre "flotabilidad" desarrollada por Kennedy y Wilson en el 2007, consiste en un sistema de evaluación alineado al currículo resaltando un concepto importante para los fenómenos físicos de la materia y así propiciar que los estudiantes puedan responder ¿Por qué algo flota? y de allí se derivan ideas que complementan a la flotabilidad como la densidad, la masa y el volumen. Además, describe las maneras en las que el pensamiento de los estudiantes se vuelve más sofisticado con el tiempo.

Por otro lado, en química existe la progresión de aprendizaje para la "teoría atómica molecular", desarrollada por Carol Smith, Marianne Wiser, Charles Anderson y Joseph Krajcik de diversas universidades de los Estados Unidos en el 2006, en esta se describe la manera en la que una progresión puede llevarse a cabo definiendo preguntas centrales para poder armar la progresión a través de los diversos niveles educativos. Los autores proponen la progresión para estudiantes que cursan desde k2 hasta k8, y su objetivo es que la progresión ayude a

explicar una gama amplia de fenómenos en el mundo natural que los estudiantes pueden explorar con la teoría atómica molecular para cursos más elevados de biología, química y física. Esta progresión incluye niveles hipotéticos del desarrollo de la idea central y sugiere evaluaciones que pueden usarse para examinar el pensamiento y razonamiento sobre la conceptualización de la materia (Smith, Weiser, Anderson & Krajcik, 2006).

Debido a que no hay un marco de referencia para elaborar progresiones de aprendizajes, un grupo de investigadores del centro de mejora continua instruccional de la Universidad de Columbia han propuesto varias características que podrían contener las progresiones de aprendizaje basándose en las ya existentes:

- Mencionar los objetivos de aprendizaje necesarios para que al finalizar cada nivel educativo puedan cumplirse.
- Que sean distinguibles las dimensiones críticas de comprensión y habilidades desarrolladas para cada nivel.
- Que en efecto haya varias etapas de progreso y a su vez tengan pasos intermedios significativos que se espera alcancen la mayoría de los estudiantes.
- Desempeños de aprendizaje; hacen referencia a tareas que se vayan cumpliendo para cada nivel, donde los estudiantes puedan demostrar su comprensión y habilidades específicas hasta ese momento.
- Evaluaciones que midan la comprensión del alumno de las ideas que construyen la progresión de aprendizaje y se pueda rastrear su proceso de comprensión a lo largo del tiempo.

De este modo los investigadores mencionan que las progresiones pueden ser válidas para que se puedan llevar a cabo como un apoyo en los diseños de los currículos o planes de estudio; por lo que tendrán la ventaja de mejorarlos en cada disciplina científica (Corcoran, 2009). Además, los esfuerzos en torno a las PA se basan en la investigación educativa disponible en cognición y aprendizaje; y pueden ayudarnos a hacer conjeturas informadas con respecto a las direcciones más productivas para los estándares en ciencias, los planes de estudio y las diversas evaluaciones (Duncan, 2013).

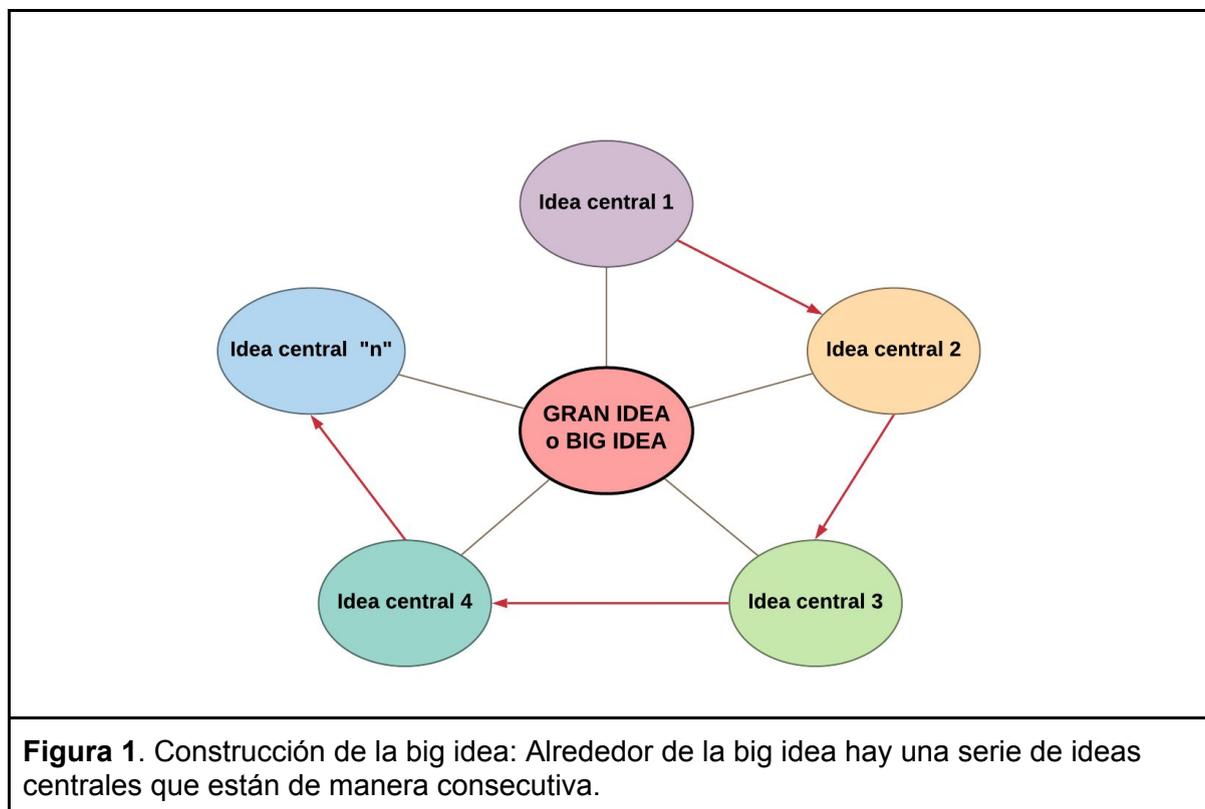
Cabe destacar la diferencia entre los estándares, planes de estudio y las progresiones de aprendizaje, puesto que no estamos hablando de lo mismo. Como se mencionó anteriormente las progresiones de aprendizaje son modelos propuestos que representan hipótesis de cómo se desarrolla realmente la comprensión de los alumnos, dadas las investigaciones realizadas, en largos periodos de tiempo de instrucción. Mientras que los estándares y planes de estudio definen el contenido común y expectativas de rendimiento para estudiantes de un grado en particular; y las expectativas del contenido tienden a ser aspiracionales. Ahora, la diferencia entre los estándares y planes de estudio está en la manera

estructural para cada institución, universidad, escuela o país. Por ejemplo, en México a nivel de educación básica se manejan planes de estudio que marca la Secretaría de Educación Pública con sus respectivos ejes, temáticas y aprendizajes esperados, mientras que en los Estados Unidos para las ciencias (biología, química, física) se guían en estándares en ciencias y la estructura de estos pretende ser progresiva, además en los estándares se incluyen las habilidades o prácticas científicas que el estudiante desarrollará.

## 1.2 ¿Qué son las grandes ideas?

A finales del siglo XX y principios del XXI se desarrolló el término *big idea* (gran idea) en la investigación científica, pero ¿a qué se refiere esto? Existen diversas propuestas y cada autor ha dado su enfoque sobre lo que se entiende por *big idea* tanto en las ciencias como en la Química. Para Wynne Harlen (2010) las *big ideas* en las ciencias como química, física y biología, son una abstracción que explica las relaciones observadas o propiedades de los fenómenos de índole científica que nos rodean. Desde este punto de vista, la identificación de las *big ideas* son un complemento natural para promover la educación en ciencias basada en la indagación, pues ésta puede ofrecer a los alumnos el placer de descubrir por sí mismos dichos fenómenos e iniciar tanto una apreciación como los límites de la ciencia (Harlen, 2010).

Por otro lado, autores como de Jong y Talanquer (2015) amplían sus explicaciones en torno a este concepto y mencionan de manera más específica que las *big ideas* pueden tener varios significados dependiendo del contexto en el que se use el término; los autores las definen en el dominio científico como *las grandes ideas que sustentan una disciplina basadas en un conjunto de ideas centrales o fundamentales, y permiten la comprensión de fenómenos relevantes para dicha disciplina*. El modelo de enlace químico es aceptado por varios autores como una de las *big ideas* de la química, así como los *átomos, moléculas e iones* también es considerada otra de las *big ideas*, como base para los componentes de la materia (Gillespie, 1997). Es importante destacar que las *big ideas* tienen a su vez una serie de ideas centrales o ideas fundamentales que son los pilares para construir la *big idea*; y éstas son relevantes en la enseñanza aprendizaje de cualquier disciplina (De Jong & Talanquer, 2015). En la figura 1 se muestra cómo alrededor de una *big idea* hay una serie de ideas centrales o fundamentales, que son necesarias en la construcción de la *big idea*, y la línea roja que une la idea central uno con la idea central dos y se van secuenciado de manera unidireccional. Esto implica que en la progresión de aprendizaje van las ideas centrales avanzando de manera consecutiva para poder construir la *big idea*, de una manera más ordenada.



También de Jong & Talanquer (2015) categorizan las grandes ideas de la química en dos grupos:

1. Ideas conceptuales, que incluyen los conceptos necesarios para entender la química como disciplina, e,
2. Ideas contextuales, donde los conceptos están relacionados con ciertos problemas sociales. Estas ideas pueden ser muy generales como “química para la sostenibilidad” o más específicas como “adelgazamiento de la capa de ozono y sus efectos”.

En los años sesenta surge el concepto de currículo integrado, como respuesta al hecho de que la educación científica debe considerar no sólo conocimientos científicos sino también el cómo las ciencias observan y se relacionan con la realidad. Así, este currículo integrado considera ideas conceptuales en determinados contextos sociales o históricos. En ese momento, los proyectos educativos estaban enfocados a reducir el número de conceptos aislados e introducir estas grandes ideas de la química para estimular la motivación y mejorar la comprensión de los conceptos científicos, en estudiantes de todos los niveles educativos. Ante tal situación, en química, se propuso identificar aquellas áreas del currículo que nutrieron lo esencial de la disciplina.

Posteriormente en los años ochenta, surgió una nueva reforma tanto en los Estados Unidos como en Inglaterra y se diseñaron proyectos que proponían la enseñanza de la química en contextos determinados, ejemplos de ellos son los proyectos *Chemistry in the Community (ChemComm)* de los Estados Unidos y el proyecto *Chemistry: The Salters Approach*. Ambos proyectos tuvieron como objetivo abordar, en el libro de texto, situaciones relevantes de la vida cotidiana relacionadas con la química; por ejemplo, uno de los capítulos de *Chemistry in the Community* llamado Construcciones trata a las reacciones químicas que se efectúan entre los diversos materiales usados en construcción, los factores que las modifican, etc. Estas propuestas propiciaron la modificación del currículo, con la finalidad de integrar los conceptos centrales de la Química en contextos cercanos a los estudiantes.

Además de las propuestas de los libros, han surgido otras propuestas sobre cuáles son las *big ideas* de la química.

El químico inglés Ronald Gillespie (1997) propone cinco *big ideas* para la química, son las siguientes:

1. Átomos, moléculas y iones
2. Reacción química
3. Enlace químico
4. Estructura y geometría molecular
5. Energía y entropía

Mientras que la *American Chemical Society (ACS)* presenta diez *big ideas* de la química, las cuales corresponden a enunciados más específicos:

1. La materia consiste en átomos con una estructura interna la cual dicta su comportamiento.
2. Los átomos interactúan por medio de fuerzas electrostáticas para formar enlaces químicos.
3. Los compuestos químicos tienen estructuras geométricas que influyen en su comportamiento físico y químico.
4. Las fuerzas intermoleculares dictan el comportamiento físico de la materia.
5. La materia cambia formando productos con nuevas propiedades físicas y químicas.
6. La energía es la clave de las reacciones químicas de los sistemas a escala molecular, así como en sistemas macroscópicos.
7. Los cambios químicos ocurren con base en una escala de tiempo.
8. Todos los cambios químicos son en principio reversibles, y a menudo llega a un estado de equilibrio dinámico.
9. La química generalmente avanza mediante observaciones experimentales.

10. La química construye significados indistintamente a nivel de partículas y a nivel macroscópico.

Por otro lado, el químico inglés Peter Atkins (2010) define sólo nueve big ideas, se presentan de manera más concisa:

1. La materia está compuesta de átomos.
2. Los elementos forman familias.
3. Los enlaces se forman entre átomos que comparten pares de electrones.
4. La forma molecular es de suma importancia
5. Las moléculas interactúan entre cada una.
6. La energía se conserva
7. La energía y la materia tienden a dispersarse.
8. Existen barreras en las reacciones químicas
9. Sólo hay cuatro tipos de reacciones químicas fundamentales.

En respuesta a estas propuestas, Talanquer (2015) plantea su perspectiva alrededor de las *big ideas* en la química y sustenta que no sólo es necesario definir un listado de cada una de esas ideas, sino, encapsular el conocimiento químico y las acciones que ayuden a darle sentido a la química con base en preguntas con una intención propositiva para generar un pensamiento químico en el estudiante. Propone que la relevancia de la química está centrada en las implementaciones que su conocimiento permite y no sólo en su contenido. Por ello plantea un diagrama donde se exponen preguntas clave y la manera en la que se conecta cada idea (figura 2).

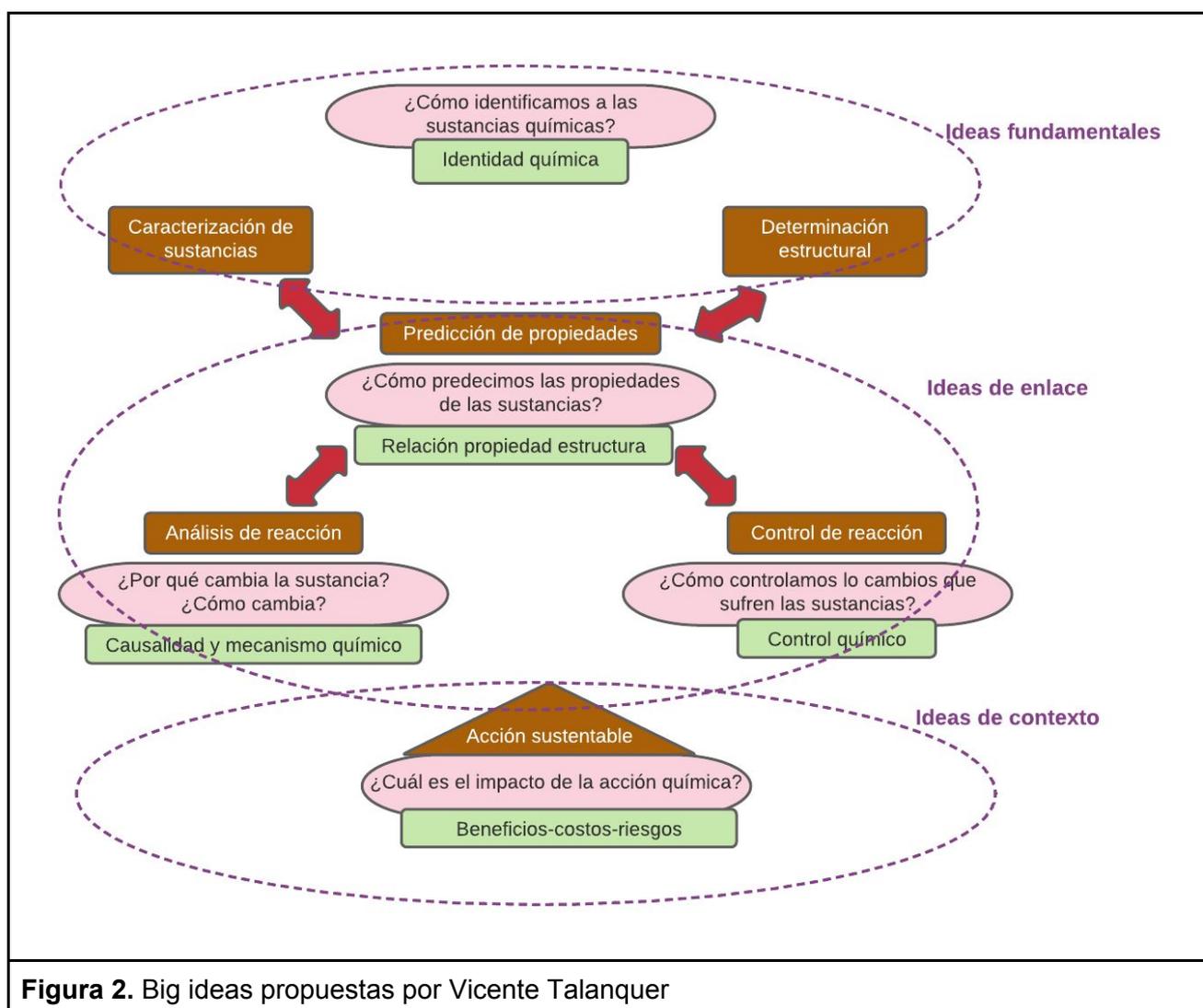
En esta propuesta se dividen las ideas en tres grupos, las *ideas fundamentales* que se derivan de la primera pregunta *¿Cómo identificamos a las sustancias químicas?* De la primera idea se deriva el cómo caracterizar a las sustancias y la segunda idea se centra en cómo determinar su estructura. Con estas dos ideas se pretende utilizar el pensamiento químico para determinar la identidad química de los componentes de cualquier material.

El segundo grupo de ideas, las *ideas de enlace* son un puente entre el conocimiento y la práctica del pensamiento químico con el propósito de generar una conexión entre las explicaciones a nivel macroscópico y a nivel submicroscópico. Esto lo lleva a cabo con tres preguntas: la primera *¿Cómo predecimos las propiedades de las sustancias?* tiene el propósito de predecir la manera en la que interaccionan las sustancias con base en las propiedades que presenta cada sustancia, así como el análisis de patrones estructurales de las entidades moleculares para predecir los comportamientos físicos y químicos en los niveles macroscópico y submicroscópico. La segunda pregunta *¿Por qué y cómo cambia la sustancia?* tiene que ver con el análisis de la reacción, es decir, se tiene que relacionar a la reacción química con la

energía potencial involucrada en cada entidad molecular, así como la velocidad a la que puede ocurrir un proceso químico para que puedan transformarse las sustancias. Y la tercera pregunta ¿Cómo controlamos los cambios que experimentan las sustancias? tiene el propósito de saber la manera en la que podemos controlar las reacciones químicas, pues en este momento se comprenderá cómo las condiciones ambientales afectan los estados energéticos de las diferentes entidades moleculares presentes en un sistema.

La última parte del diagrama involucra una *idea de contexto*, puesto que el conocimiento químico no está aislado y en todo momento estamos ante cambios químicos, esta última parte abarca las acciones sustentables, pues la producción y consumo de productos químicos tienen un cierto riesgo, costo y beneficio, los cuales se tienen que inculcar en el pensamiento del estudiante.

Talanquer concluye que este diagrama puede ayudar a desglosar el pensamiento químico que todo estudiante pudiera desarrollar y de esta manera la educación química se pueda alinear a objetivos reales con la oportunidad de ponerlos en un contexto.



**Figura 2.** Big ideas propuestas por Vicente Talanquer

Talanquer y De Jong (2015) mencionan, que las ventajas en el desarrollo de esta propuesta de Big ideas es presentar de manera integral y coherente la Química a los estudiantes, dado que los conceptos se presentan en contextos de la vida cotidiana y esto propicia un aprendizaje más significativo.

A partir de estas visiones sobre las grandes ideas en la química, algunos de los currículos y planes de estudio de los diferentes subsistemas de enseñanza media superior de nuestro país, han incorporado el contexto de las *big ideas* de la química. Por ejemplo, en el caso del Colegio de Ciencias y Humanidades para el primer semestre, su segunda unidad se llama *Oxígeno sustancias activas en el aire*. Mientras que en la Escuela Nacional Preparatoria (ENP) en el primer año de química su plan de estudios nombra la primera unidad como *Elementos químicos en los dispositivos móviles*. Más adelante se analizarán dichos planes de estudio para ver cómo se va abarcando la *big idea* de enlace químico.

### **1.3 El Modelo de Enlace Químico. Retos y propuestas sobre su enseñanza aprendizaje.**

A finales del siglo XX la didáctica de las ciencias surgió como una disciplina autónoma, nutrida por la psicología y la pedagogía, pues coadyuvan a una mejor construcción de la enseñanza aprendizaje (Adúriz-Bravo, 2002) y centrada en el contenido de las ciencias. La didáctica de las ciencias se plantea investigaciones centradas en las interrogantes que surgen en el aula; a partir de las cuales se generan diversas propuestas, entre las que se encuentran: la elaboración de secuencias didácticas que propicien un aprendizaje más significativo, el desarrollo de investigaciones con el objeto de identificar las concepciones alternativas que los estudiantes construyen en cada etapa del proceso de enseñanza-aprendizaje en las diferentes disciplinas y niveles educativos, nuevos diseños curriculares y el replanteamiento de cómo y para qué se debe evaluar.

Las concepciones alternativas son un campo de investigación de vital importancia dentro de la didáctica de las ciencias, éstas son construcciones de pensamiento que el estudiante genera por la necesidad de dar una interpretación del mundo que le rodea; son ideas equivocadas o alejadas de lo aceptado por la ciencia (Sanmartí, 2002).

Las concepciones alternativas son dificultades que interfieren en el proceso de enseñanza aprendizaje, pues de acuerdo con Bello (2004), dichas concepciones generan un “esquema representacional” en el pensamiento del estudiante, que dificulta la construcción de las ideas aceptadas científicamente. Por ello, es importante que el docente conozca las

posibles concepciones alternativas que puedan tener sus estudiantes en los distintos temas del currículo.

Enseñar y aprender química en el bachillerato puede resultar complicado debido a la abstracción de dicha ciencia. En particular, la noción de enlace químico es parte de un extenso marco explicativo que los químicos utilizan para dar sentido a los fenómenos que ocurren a un nivel macroscópico y cuando se elaboran explicaciones, tanto de docentes como de investigadores o estudiantes, se han dado explicaciones alejadas entre cada uno (Nahum, 2013).

La investigación educativa, como parte de la didáctica de las ciencias, se ha enfocado a detallar los retos en la enseñanza aprendizaje del modelo de enlace químico, así como las diversas concepciones alternativas que se generan durante el proceso de enseñanza. Keith Taber (2016), detalla que uno de los grandes retos a los que se enfrentan docentes y estudiantes respecto a este tópico, es el hecho de que los químicos han elaborado teorías sobre la manera en que la materia interactúa a nivel submicroscópico, para dar lugar a estructuras a escala molecular y para poder explicar las propiedades macroscópicas y las funciones de la materia. A los profesionistas, investigadores y docentes, como expertos, les resultan familiares dichas explicaciones y es fácil olvidar lo compleja que es la perspectiva de cómo interacciona la materia para los estudiantes que se enfrentan por primera vez con dichos conceptos. Por otro lado, Sosa (2009) menciona que el modelo de enlace químico resulta difícil de enseñar y aprender dado que es un concepto abstracto que, para explicarlo completamente, se requiere de conocimientos de mecánica cuántica, y debido a que este tema no se cubre en el bachillerato, los docentes recurren a explicaciones alejadas de la naturaleza eléctrica del enlace entre las partículas químicas. Estas dificultades en la enseñanza aprendizaje de este concepto, han causado irregularidades en los enfoques de enseñanza de esta *big idea*.

A continuación, se mencionan los enfoques que tradicionalmente diversos autores han detallado respecto a la enseñanza del enlace químico:

- Se presenta como una compartición de electrones entre átomos de una manera generalizada dejando en segundo plano la interacción entre partículas de naturaleza eléctrica (Caamaño, 2016).
- Se explica como un proceso mecánico y recurren a analogías en las que se compara el enlace químico con la fuerza mecánica de una cuerda, generando la concepción alternativa de que el enlace es algo material (Sosa, 2009).
- Para enseñarlo, se usan analogías que conllevan a una antropomorfización del enlace cuando se menciona: “Los átomos necesitan formar enlaces” o “los átomos deciden si van a formar una pareja con...”, esto conlleva a conceptualizar al enlace como algo material y con vida (Kind, 2004).

- La dicotomía entre los enlaces iónico y covalente se utiliza para referirse a una clasificación de tipos de enlaces y se suelen enseñar como sustancias opuestas en cuanto a sus propiedades y estructura, y se deja de lado la importancia de las partículas que interactúan, así como otros tipos de interacción entre partículas como el enlace metálico y los dipolos, por mencionar algunos (Nahum, 2013).
- La regla del octeto se enseña como un principio teleológico, donde los átomos ceden o comparten electrones con la finalidad de adquirir la estructura del gas noble más cercano. Es una regla heurística de utilidad para algunas sustancias, sin embargo, se enseña como regla general y se resta importancia a la naturaleza eléctrica entre partículas: electrones con núcleos positivos y aniones con cationes (Caamaño, 2016).
- Se afirma que los enlaces iónicos se forman por la transferencia de uno o más electrones de valencia de un átomo a otro (nivel micro) y no a la formación de estructuras gigantes debido a interacciones múltiples entre los iones, esto conlleva a pensar que se forman pares iónicos, como una molécula y no una red de aniones y cationes en posiciones alternas (Caamaño, 2016).
- Se da por hecho la clasificación de tres tipos de enlaces: iónico, covalente y metálico. Dejando a un lado las características relevantes del modelo y las propiedades macroscópicas que se distinguen de acuerdo con el estado de agregación (Gasque, 1997).
- La polaridad de los enlaces se considera como una característica adicional de los enlaces covalentes. La electronegatividad (EN) suele introducirse en el contexto del enlace covalente y no como una parte integral del concepto de polaridad. Además, se utilizan las diferencias de electronegatividad entre los átomos como una condición que determina la formación de enlaces iónicos o covalentes (Nahum, 2013).
- Cuando se enseñan interacciones dipolares de tipo puente de hidrógeno se recurre a protagonizar al hidrógeno en el agua, restando importancia a la formación del dipolo en una molécula debido a la diferencia de electronegatividad entre las partículas participantes, esto conlleva a que los estudiantes piensen que sólo se da entre moléculas de agua, e incluso se reporta una terminología a estas interacciones como “líquidos-débiles” (Kind, 2004).

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, dentro de la didáctica de las ciencias se han llevado a cabo investigaciones y propuestas para propiciar una construcción más adecuada del modelo de enlace químico. A continuación, se mencionan dos estrategias didácticas para contrarrestar la formación de concepciones alternativas y procurar un mejor entendimiento del modelo de enlace químico:

1. Aureli Caamaño propone un enfoque didáctico a partir de una nueva terminología de las sustancias y de los niveles estructurales que adopta la materia en función de la interacción entre partículas.
  - a. El enlace químico debe enseñarse como una interacción eléctrica entre átomos, iones o moléculas. Existen fuerzas de atracción y repulsión de carácter electrostático entre las partículas; las primeras se deben a la interacción entre cargas eléctricas opuestas, y las de repulsión a la interacción entre cargas eléctricas del mismo signo (Caamaño, 2016).
  - b. La estructura de las sustancias debe especificarse con un lenguaje adecuado; las sustancias moleculares tienen estructuras multimoleculares y las sustancias sólidas con enlaces iónicos, covalentes y metálicos, forman estructuras de redes gigantes (cuadro 1).
2. Nahum y colaboradores (2010), proponen un aprendizaje gradual del enlace químico y señalan varias etapas. La primera consta en enfocarse en un sólo átomo o partícula, después en lo que ocurre cuando se acercan dos partículas de naturaleza distinta (átomo, molécula, ion), resultando en la formación del “enlace”, en la tercera etapa se muestran casos extremos de enlaces, para después pasar a la cuarta etapa donde se relacionan las estructuras y por último las propiedades que conllevan la formación de ese enlace.

Cuadro 1. Aspectos terminológicos para el modelo de enlace químico.

SUSTANCIA		ENLACE	PARTÍCULAS	ESTRUCTURA
Molecular		Intermolecular entre moléculas Enlaces de hidrógeno.	Moléculas	Multimolecular
Con estructura gigante	Iónica	Iónico	Iones positivos y negativos	Estructura gigante iónica
	Covalente	Covalente	Átomos	Estructura gigante covalente
	Metálica	Metálico	Iones positivos y electrones	Estructura gigante metálica

## 2. OBJETIVOS Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer un modelo de progresión de aprendizaje para la enseñanza aprendizaje del modelo de enlace químico en el Nivel Medio Superior.

### 2.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Reestructuración de los conceptos relacionados con el modelo de enlace químico para identificar en la progresión las ideas centrales relacionadas con la big idea.
- Diseño y aplicación de tres herramientas de evaluación con base en el modelo de progresión de aprendizaje generado con el objeto de que los docentes de bachillerato respondan y opinen de la pertinencia de la propuesta.
- Identificar la manera en que la propuesta curricular del CCH trata el tema de enlace químico

### 2.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El modelo de enlace químico forma parte de una *big idea* en la química, sin embargo de acuerdo con artículos de investigación educativa, como el de Keith Taber (2016) , Nahum Levi (2013) y Sosa Plinio (2009), mencionan cómo la conceptualización del modelo de enlace químico en el bachillerato ha resultado compleja debido a la abstracción que se necesita por parte del estudiante para su entendimiento, y esto ha generado diversas concepciones alternativas que han dificultado la enseñanza aprendizaje de todo lo que conlleva el modelo de enlace químico.

### 2.4 HIPÓTESIS

Con la propuesta del modelo de progresión de aprendizaje para el modelo de enlace químico en el bachillerato, se generará una mayor comprensión del tema brindando un panorama general de la enseñanza aprendizaje del enlace químico donde se tendrá en cuenta qué se debe ver en cada momento del bachillerato, así como una guía para la planeación didáctica por parte del docente.

### 3. METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo con la información presentada en el marco teórico sobre progresiones de aprendizaje, *big ideas* y nuevas formas de enseñanza para el modelo de enlace químico, a continuación, se menciona la metodología llevada a cabo para la propuesta del modelo de progresión de aprendizaje en el bachillerato.

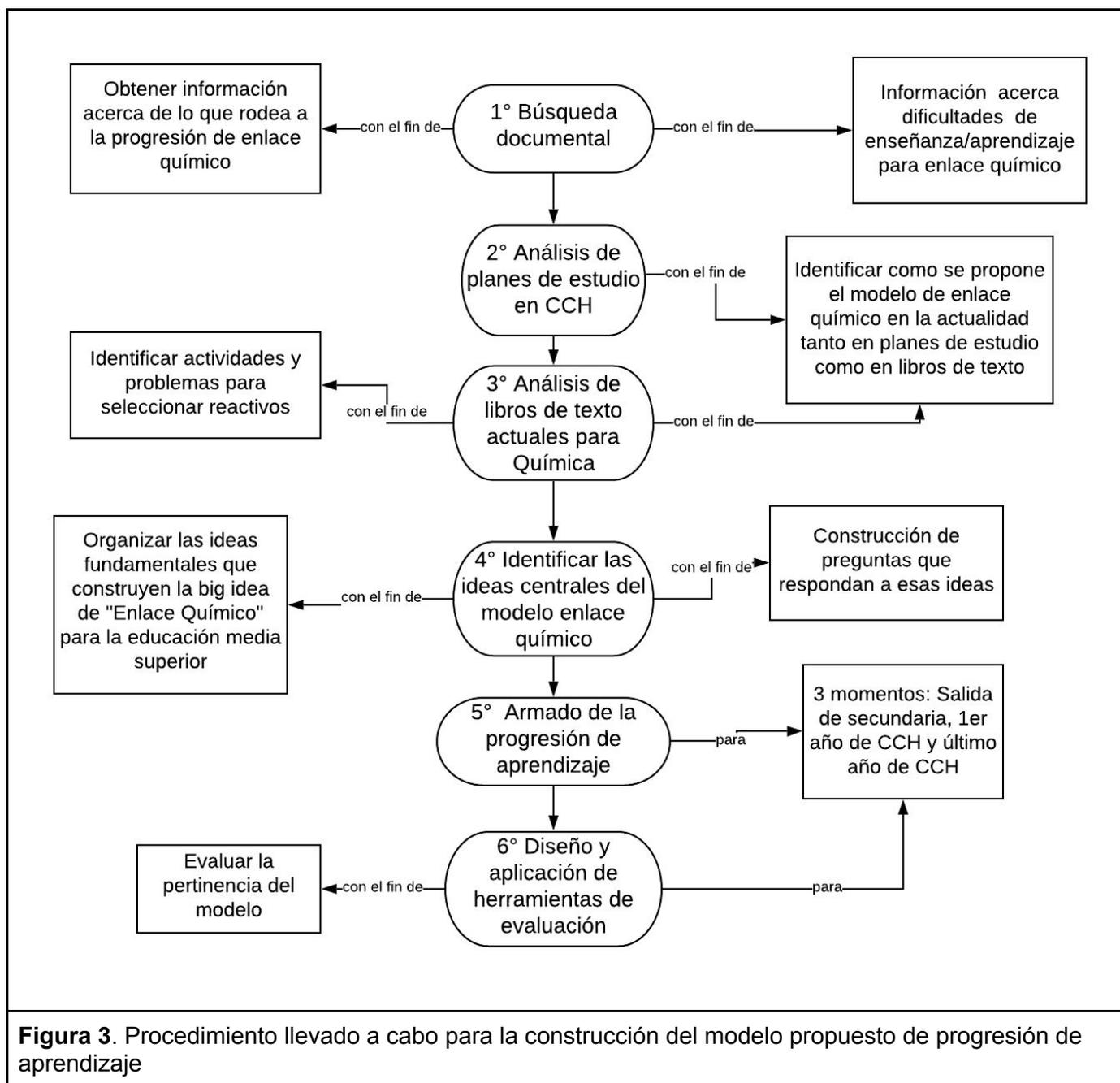
Como se mencionó en el marco teórico, las progresiones de aprendizaje resultan ser un tema reciente en la investigación educativa, por lo que no existe un protocolo o guía de cómo llevar a cabo una progresión de aprendizaje. Pues cada autor ha tomado sus propios pasos para llevar a cabo una progresión, donde el objetivo es tener en cuenta la progresión de ideas que se construyen en un lapso determinado. Por esto mismo en el trabajo la metodología corresponde a una investigación cualitativa donde se fue reestructurando y diseñando la propuesta de la progresión hasta llegar al objetivo deseado.

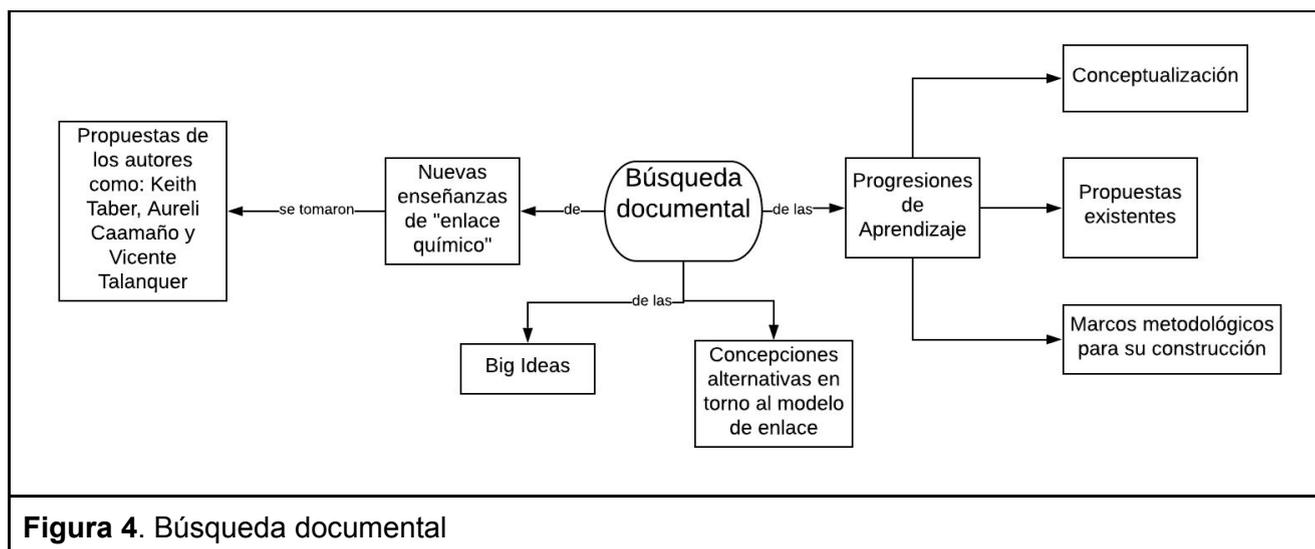
A continuación, se detallará el método seguido para la construcción del modelo de progresión de aprendizaje y la metodología realizada:

#### 3.1 Construcción del modelo de progresión de aprendizaje para el modelo de enlace químico a nivel bachillerato.

Para la realización del modelo de progresión de aprendizaje fue necesario realizar pasos previos de investigación y análisis. En la figura 3 se detalla cada paso realizado para el armado de la progresión de enlace químico para el nivel medio superior.

- El primer paso fue realizar una **búsqueda documental** con el fin de tener una noción de lo que involucra el construir una propuesta de progresión: conceptualizar su significado y conocer acerca de métodos propuestos en otros temas para guiar esta investigación; y por otro lado se indaga sobre las nuevas maneras de enseñanza/ aprendizaje del enlace químico (figura 4).
- A la par, se realizó un pequeño **análisis de los planes de estudio** actuales en México del bachillerato, se tomó como guía el plan de estudios del CCH de la UNAM. Se hizo un esquema de los aprendizajes que se proponen en torno al enlace químico, con el fin de tener una noción de la secuenciación sobre las ideas que hay alrededor del enlace químico en la actualidad.
- Por otro lado, se realizó un **análisis con libros de texto** de química del nivel medio superior, con el fin de identificar el enfoque que brinda cada libro, así como tener los aspectos más importantes a tomar en cuenta para realizar la progresión propuesta





**Figura 4.** Búsqueda documental

- Una vez con los libros de texto y la búsqueda documental sobre las ideas centrales de lo que rodea al enlace químico, se tuvo un panorama general de lo que se ofrece actualmente en el bachillerato, así como una reflexión sobre qué aspectos no mencionan en libros o se dan por hecho para poder armar una progresión de ideas. Y con ayuda de esa reflexión se fueron redactando ciertas **preguntas esenciales que responden a las ideas que circundan a la *big idea***. Varias de estas ideas surgieron y se redactaron de tal modo que hubiera una posible secuenciación y lógica para construir a la *big idea*.
- Posteriormente se fueron construyendo más ideas con sus respectivas preguntas, las cuales en un principio no se encontraban de manera jerarquizada por temporalidad, por lo que se realizó un boceto a mano con tarjetas para cada pregunta; y así fue más sencillo visualizar y seleccionar un orden de esas ideas para cada momento en el bachillerato: entrada al primer curso de química, entrada al segundo curso de bachillerato y salida del bachillerato. Y posteriormente, esas ideas con sus preguntas se transcribieron a un archivo de *Google Documents*, pero ahora sí de manera sucesiva para poder estructurar el modelo de progresión de aprendizaje.
- Una vez que se tuvieron estructuradas dichas preguntas e ideas en torno a la *big idea*, se procedió a construir y diseñar el modelo de **progresión de aprendizaje** para los tres distintos momentos: El primer momento corresponde al ingreso al bachillerato en el primer curso de química 1, el segundo momento corresponde a la salida del primer año del curso de química 1 y entrada al último año correspondiente al área de ciencias-biológicas, donde se aborda el último curso de química. Y el tercer momento de la progresión de aprendizaje corresponde a la salida del bachillerato, donde están concluidos todos los cursos de química. Es decir, en cada momento se pretende que los estudiantes tengan presente las ideas sobre enlace químico que se construyen en la propuesta de progresión de aprendizaje. El modelo de progresión se diseñó en la plataforma gratuita de Google:

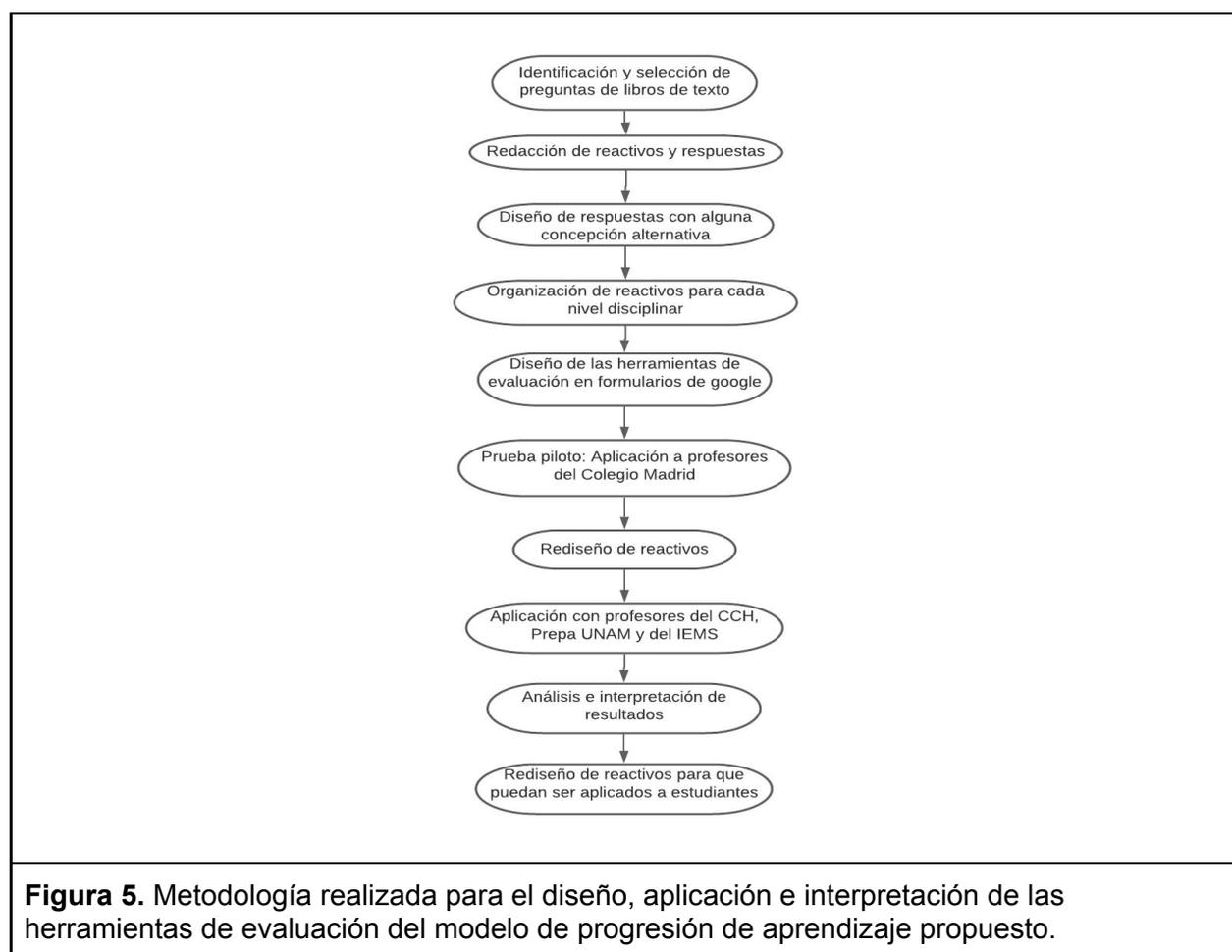
Google Sheets. Y se le dio un formato único para hacer la secuenciación y jerarquización de la progresión.

### 3.2 Evaluación del modelo de progresión de aprendizaje.

Una vez construido el modelo de progresión de aprendizaje para enlace químico, se tuvo la intención de evaluar la pertinencia del modelo de progresión de aprendizaje propuesto con estudiantes del bachillerato en los tres momentos clave anteriormente mencionados. Estos momentos se han considerado para tener los enfoques que los estudiantes tienen y han construido en torno al enlace químico durante el transcurso del bachillerato. Las herramientas de evaluación tendrán la intención de evaluar a la luz del modelo propuesto cómo han ido construyendo la idea de enlace químico, y con esto tener un panorama de qué tan alejado está el modelo propuesto con la realidad.

### 3.3 Elaboración de herramientas de evaluación enfocados en los tres momentos de instrucción del bachillerato.

En este apartado se detalla cómo fue la elaboración de las herramientas de evaluación con sus respectivas decisiones, así como la manera en la que fue aplicado a docentes y la interpretación de los resultados obtenidos con las herramientas de evaluación (Figura 5).



Para la elaboración de las herramientas de evaluación se consideraron los siguientes puntos:

- a. Se eligieron algunos reactivos de los libros de texto, de artículos y series de preguntas de profesoras de este Comité Tutor.
- b. Se diseñaron reactivos propios que van de acuerdo con lo que se plantea en el modelo propuesto de la progresión de aprendizaje y quedaron estructurados de la siguiente manera:
  - i. Preguntas de verdadero y falso con justificación.
  - ii. Preguntas de opción múltiple con cuatro opciones de respuesta; una de las cuales corresponde a una concepción alternativa, otra a una analogía antropomórfica, otra es una respuesta fuera de lugar y la opción de la respuesta correcta que concuerda con las ideas de la progresión de aprendizaje.
- c. Una vez que se tuvo un bosquejo de todos los reactivos se acomodaron por temporalidad de acuerdo con los diferentes momentos que establece el modelo de la progresión de aprendizaje propuesto.
- d. En un primer momento se decidió aplicar las herramientas solamente a estudiantes, sin embargo, en una sesión de comité tutor se decidió aplicar primeramente a los docentes de los estudiantes laborando en nivel medio superior. Sin embargo, en virtud de las incertidumbres del 2020, se tomó en consideración diseñar y aplicar las herramientas en modalidad virtual haciendo uso de los formularios que ofrece el sistema de *Google Forms* de acceso libre:
  - i. Primero se realizó una prueba piloto a seis profesores del Colegio Madrid, con el fin de recabar su opinión sobre la pertinencia de los reactivos propuestos y rediseñarse en caso necesario.
  - ii. Se analizaron los comentarios vertidos por los profesores y se hicieron los cambios que se consideraron pertinentes y adecuados a la luz del modelo propuesto.
  - iii. Las herramientas de evaluación modificadas, se aplicaron a trece docentes tanto de los subsistemas CCH y ENP de la UNAM y del Instituto de Educación Media Superior de la Ciudad de México (IEMS). Cabe destacar que los docentes no tienen en cuenta el modelo de progresión propuesto.
  - iv. En la última sección de las tres herramientas de evaluación, se les pregunta a los docentes su opinión sobre los siguientes dos aspectos: primero se les cuestiona si están de acuerdo o no en que esa evaluación la puedan resolver los estudiantes que cursan ese momento en particular

del bachillerato; y segundo, si consideran que esa evaluación cubre o no los aprendizajes y objetivos que se plantean en planes de estudio para ese curso de química en el bachillerato. Dichas preguntas se realizaron con una escala Likert de cinco puntos. Posteriormente se les pregunta con respuesta abierta el porqué eligieron el puntaje de esa escala y por último se les pide una opinión adicional sobre esa herramienta de evaluación.

- v. Al recabar las distintas respuestas y opiniones de los docentes sobre las tres herramientas de evaluación, se descargan las respuestas en un archivo de *google sheets* para su posible interpretación.
  
- e. Finalizado el modelo de progresión de aprendizaje propuesto y las distintas opiniones de los docentes sobre las herramientas de evaluación, las cuales se basan en el mismo modelo, se llegaron a ciertos análisis generales y conclusiones finales del trabajo de investigación.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 REVISIÓN Y ANÁLISIS DE PLANES DE ESTUDIO DEL BACHILLERATO

Para el análisis de planes de estudio se tomó por un lado lo planteado por el sistema del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) y por otro lado el de la Escuela Nacional Preparatoria de la UNAM, los dos subsistemas del bachillerato de la UNAM. Como resultado del análisis de estos programas, en el cuadro 2 se sintetizan los aprendizajes esperados respecto a la *big idea* del enlace químico que se abordan actualmente en dichos subsistemas.

Con respecto a los aprendizajes con los que el estudiante tiene que entrar al bachillerato se tomaron los planteados por la SEP para Ciencias III Química, los cuales se abordan en el tercer grado de secundaria.

**Cuadro 2. Aprendizajes esperados para cada nivel educativo en torno al enlace químico planteados por el CCH y la ENP de la UNAM.**

Nivel educativo		Temática en el plan de estudio	Aprendizaje esperado dentro del plan de estudio
SECUNDARIA Tercer grado		Eje: Materia e interacciones  Subtema: <i>Interacciones</i>	Caracteriza cómo responden distintos materiales a diferentes tipos de <b>interacciones</b> (mecánicas, térmicas, eléctricas).
PRIMER CURSO de química en bachillerato	CCH	<u>Primer semestre.</u> <b>Unidad II.</b> Oxígeno, sustancia activa del aire  <i>Enlace químico, clasificación y propiedades</i>	Explica con base en las <b>estructuras de Lewis</b> la distribución de los electrones en el átomo.  Caracteriza los enlaces entre dos átomos según el modelo de diferencia de <b>electronegatividad</b> .  <b>Predice propiedades</b> como solubilidad y conductividad eléctrica de compuestos desconocidos.
		<u>Segundo semestre.</u> <b>Unidad I.</b> Suelo  <i>Propiedades generales de las sales.</i>	Explica con base en la teoría de Arrhenius el proceso de disociación de sales en el agua, que permite la presencia de <b>iones</b> en el suelo y reconoce su importancia para la nutrición de las plantas

	ENP	<u>Quinto año de preparatoria.</u>  <b>Unidad I.</b> Elementos químicos en los dispositivos móviles.  <i>Propiedades físicas y químicas de los elementos que se aprovechan en los dispositivos móviles.</i>	Explicará las <b>propiedades físicas y químicas</b> de algunos elementos presentes en los dispositivos móviles, con base en el estudio de su estructura atómica, la información contenida en la tabla periódica y la modelización; para que reflexione sobre el impacto social y ambiental propiciado por la explotación de los recursos naturales necesarios en su fabricación.
		<b>Unidad 3.</b> Abastecimiento del agua potable: un desafío vital.  Propiedades del agua: Molécula polar (puentes de hidrógeno).	Explicará las propiedades físicas y químicas del agua a partir de la <b>estructura tridimensional de la molécula</b> , de tal forma que pueda comprender la importancia de este líquido como un recurso indispensable para la vida.
SEGUNDO CURSO de química en bachillerato	CCH	<u>Quinto semestre.</u> <b>Unidad II.</b> De los minerales a los metales.  <i>Importancia de los metales: Estructura, propiedades y uso.</i>	Diseña un experimento para observar algunas de las <b>propiedades físicas de los metales</b> , y explica algunas de ellas, a partir del modelo de <b>enlace metálico</b> .
		<u>Sexto semestre</u> <b>Unidad II.</b> Petróleo <i>Capacidad de combinación del átomo de carbono: tetravalencia, enlaces sencillo, doble y triple.</i>	Explica la formación de un gran número de <b>compuestos de carbono</b> , a partir de las propiedades atómicas de este elemento
	ENP	<u>Sexto año de preparatoria (área II)</u>  <b>Unidad 1.</b> Automedicación, un problema de salud pública en México.  <i>Hidrocarburos como</i>	Modelización y representación simbólica de las <b>estructuras de los grupos funcionales</b> y de las reacciones de condensación e hidrólisis.  Identificación de los grupos funcionales presentes en las estructuras de los principios activos de algunos

		<i>base de la nomenclatura sistemática de los compuestos orgánicos: alcanos, alquenos, alquinos</i>	medicamentos.
		<b>Unidad 2.</b> Alimentación saludable en México, un reto para todos. <i>Biomoléculas</i>	Representación de los modelos de la <b>estructura química de moléculas</b> relacionadas con los Alimentos.

La manera en la que se llevan a cabo los aprendizajes y temáticas sobre *enlace químico* varían entre los subsistemas del CCH y de la ENP. En el cuadro 1 se enuncian los aprendizajes para cada curso de química, primero a nivel básico en la Secundaria se menciona la palabra interacciones, haciendo referencia a cómo los materiales responden ante interacciones mecánicas, térmicas y eléctricas. Posteriormente al entrar al bachillerato, en el subsistema del CCH se abarca la química en primer y segundo semestre, donde la temática del oxígeno *como sustancia activa del aire* se toma para presentar al enlace químico y sus aprendizajes están en torno a explicar las estructuras de Lewis y caracterizar a los enlaces con base en la electronegatividad, posteriormente en el segundo semestre se abarca la existencia de los iones con la temática del *Suelo y propiedades de las sales*. Mientras que en la ENP la temática abarca a los elementos químicos presentes en aparatos móviles, donde su aprendizaje va hacia las propiedades de los elementos y luego a la estructura de las sustancias. Si bien sí se abarca algo del modelo de enlace químico, sin embargo, la visión que se presenta entre cada subsistema varía en el nivel representacional. Pues en el CCH se abarca el modelo de enlace hacia un mundo nanoscópico y simbólico con las estructuras de Lewis y predicciones con valores de electronegatividad; mientras que en la ENP se aborda en un nivel macroscópico explicando propiedades de los materiales y propiedades del agua.

Ahora siguiendo la línea del bachillerato, cuando se entra al último año, se aborda el modelo de enlace con temáticas dirigidas a las funciones de los materiales, y esto ocurre en los dos subsistemas. En CCH se aborda sobre los materiales derivados de la metalurgia y de allí se retoma un nuevo concepto de enlace, el metálico, y posteriormente en el último semestre se aborda los productos derivados del petróleo tomando como referencia al enlace covalente para explicar la tetravalencia. Mientras que en la ENP se aborda el enlace covalente de una manera implícita cuando se habla de los hidrocarburos y las estructuras representacionales de los grupos funcionales. así como las estructuras de las biomoléculas en los alimentos.

Con la información anterior se puede interpretar que ocurren brincos conceptuales, pues al pasar del nivel básico al primer año de bachillerato con sólo la construcción de: *caracterizar a los materiales de acuerdo a sus interacciones* hacía la representación de las *estructuras de Lewis y predicción de enlaces*, podría resultar difícil en la práctica de la enseñanza aprendizaje al no ser visible un anclaje que pueda unir la dimensión conceptual del modelo de enlace químico, de acuerdo con Nahum Levi (2013) una de las complicaciones en la enseñanza aprendizaje es el mostrar los distintos niveles representacionales en los materiales que nos rodean, puesto que el estudiante primero necesita saber que son los materiales, luego cuáles son las interacciones existentes y lo más importante la construcción abstracta de lo que implica decir *enlace químico*. También menciona que al presentar solamente al enlace iónico y covalente a la par, se genera una dicotomía de enlace al mencionar sus propiedades opuestas y se deja afuera al enlace metálico, generando concepciones alternativas en los estudiantes.

Aureli Caamaño (2016) remarca como un error en la enseñanza aprendizaje del *enlace químico* el dar a conocer esta idea a partir de la generalización de las propiedades de las sustancias, pues él menciona que primero se deben enseñar lo que son las *interacciones* y la manera en la que ocurren para después pasar a *estructuras de las sustancias* y así tener un panorama más completo de lo que construye a la idea del *enlace químico*. Además, menciona cómo la enseñanza de la regla del octeto para las estructuras de Lewis induce a razonamientos erróneos relacionados con la estabilidad de los iones y la formación de pares iónicos. En otro artículo Talanquer (2010) menciona que es muy importante en la enseñanza aprendizaje de la química se puedan explicar los modelos o procesos que ocurren a nuestro alrededor con ayuda de diversos niveles estructurales: nanoscópico, submicroscópico y macroscópico por lo que es necesario darle al estudiante esta visión para poder entender hacia dónde va la explicación de propiedades y después pasar al submicroscópico con las ecuaciones de disociación de Arrhenius para compuestos iónicos.

Este análisis de los planes de estudios del CCH y la ENP en torno al modelo de enlace químico, no da por hecho el que se tenga una realización inadecuada, sólo da una pauta de los posibles aspectos que pueden generar ciertas concepciones alternativas del enlace químico y conceptos que se dan implícitos dentro del plan de estudios; y esta información servirá de ayuda para poder construir el modelo de progresión de aprendizaje para enlace químico.

## 4.2. ANÁLISIS DE LIBROS DE TEXTO

Una vez que se esbozó el panorama actual de cómo se está enseñando el modelo de enlace químico en el bachillerato en México a partir de los planes de estudios del CCH y la ENP en la UNAM, ahora es importante tomar en cuenta lo que los libros de texto ofrecen sobre cómo se lleva a cabo la temática y los aprendizajes del enlace químico.

En el cuadro 3 se muestra una rúbrica para obtener los puntos importantes a considerar y analizar de la secuenciación de los libros de texto, posteriormente se realizaron diagramas de flujo (figuras 6,7,8) con la información obtenida para cada libro y con esto se realiza el análisis. Uno de los libros a analizar corresponde al “*Chemistry in the Community*” elaborado por la *American Chemical Society* de los Estados Unidos; y el segundo es el de “Tú y la Química” escrito por Andoni Garritz y José Antonio Chamizo en México.

**Cuadro 3.** Rúbrica para puntualizar los aspectos relevantes del modelo de enlace químico

Rubro	<i>Chemistry in the Community</i>	Tú y la Química
¿EL TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN ESTÁ CONTEXTUALIZADA?	Sí  Petróleo. Vehículos híbridos y vehículos con combustibles fósiles. Refinación. Rompimiento de enlaces (energía, enlaces covalentes de hidrocarburos y fuerzas intermoleculares).	No  De los átomos a las moléculas. Explicación de dónde provienen la diversidad de sustancias existentes a nuestro alrededor y después se explica enlace iónico, enlace covalente y enlace metálico.
¿CÓMO SE DESARROLLA EL TEMA, MACRO A NANO O NANO A MACRO?	Macro a nano.	Alternado.
¿CUÁLES SON LAS ESTRATEGIAS PARA LA ENSEÑANZA DEL TEMA?	Noticia (a nivel macro). explicación a nivel nano con base en el modelo de enlace químico. Evaluación tipo problemas contextualizados.	Clasificación de sustancias. Ejercicios de estructuras de Lewis Datos curiosos de macromoléculas.
¿QUÉ RECURSOS DIDÁCTICOS PROPONE?	Problemas por resolver. Investigación que hacer Desarrollo de habilidades (explicación y problemas) Revisión final (sumario de problemas abiertos)	Glifo. Contexto de una sustancia “cuáles son los iones vitales. Unir y romper. “Zafiro, rubíes y piedras preciosas. Grafito y diamante” Mol. Ejercicio de ordenar enlaces por orden de polaridad.

TIPO DE EJERCICIO SON FORMATIVOS O SUMATIVOS	Formativos	Formativo
¿LENGUAJE NUEVO?	No	NO

El cuadro 3 explica cómo los dos libros muestran un enfoque diferente para la enseñanza del enlace químico. Cada uno tiene una estructura interesante para abordar el mismo tema, en el libro de *Tu y la Química*, edición del año 2005, hay una unidad establecida con distintos capítulos para desarrollar la *big idea* de enlace químico: primero se ve al enlace iónico, luego al covalente y por último al enlace metálico. Al final de cada capítulo se ofrece una pequeña lectura contextualizada de cada tipo de enlace. La estructura del libro propone un recurso didáctico, donde le da mayor autonomía al estudiante, esta sección se llama *glifo* y consiste en dar a conocer, en un párrafo, información interesante sobre el tema, por ejemplo, *iones vitales* cuando se aborda al enlace químico.

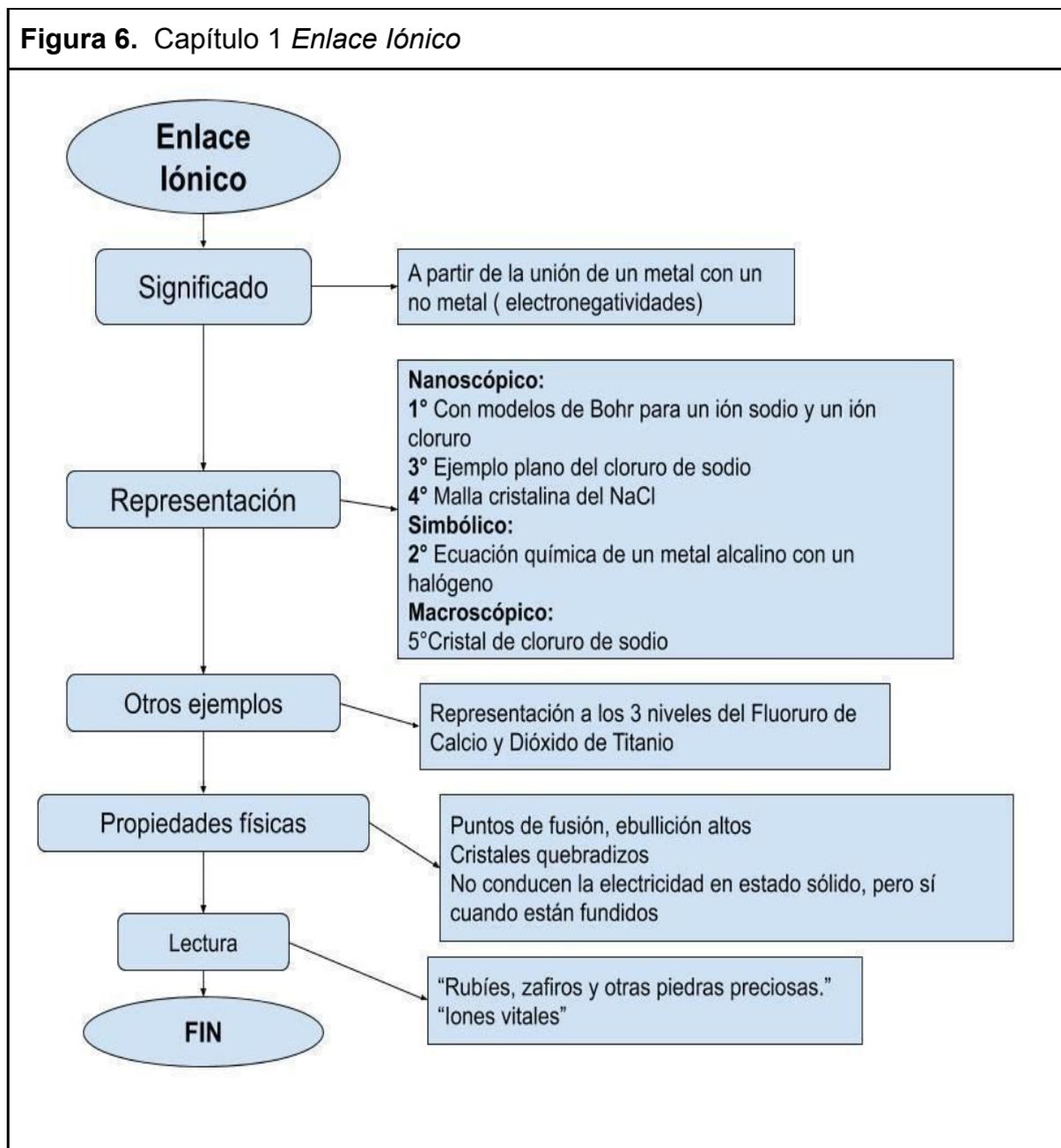
El libro no aporta lenguaje nuevo o distintos del tradicional como el que se propone en la investigación educativa, pues sigue con el enfoque de *enlace-propiedades*; y no hay mención de redes o de estructuras gigantes. Por otro lado, en el libro *ChemCom*, edición 2016, se aborda más contexto para cada capítulo puesto que cada unidad está nombrada con algún fenómeno o situaciones que sean conocidas para el estudiante. Por ejemplo, donde se aborda al enlace covalente, la unidad es llamada *Petróleo: rompimiento y formación de enlaces*. De igual modo en el *Chem Com* no aporta un lenguaje nuevo. Cabe destacar que en los dos libros sí muestran ejercicios de evaluación de tipo formativos, es decir, hay uno de inicio, uno a la mitad de cada capítulo y una evaluación final o de cierre.

La diferencia entre los dos libros radica en la manera en la que están estructuradas las *big ideas* de la química; y puesto que en los dos libros se aborda al enlace químico, se escogieron para analizar de qué manera se lleva a cabo su enseñanza aprendizaje.

En los diagramas que se muestran a continuación está más detallada la información sobre cómo está secuenciada la idea del modelo de enlace químico en cada capítulo de los dos libros:

**Primer libro: “Tu y la Química”.**

**Figura 6.** Capítulo 1 *Enlace Iónico*

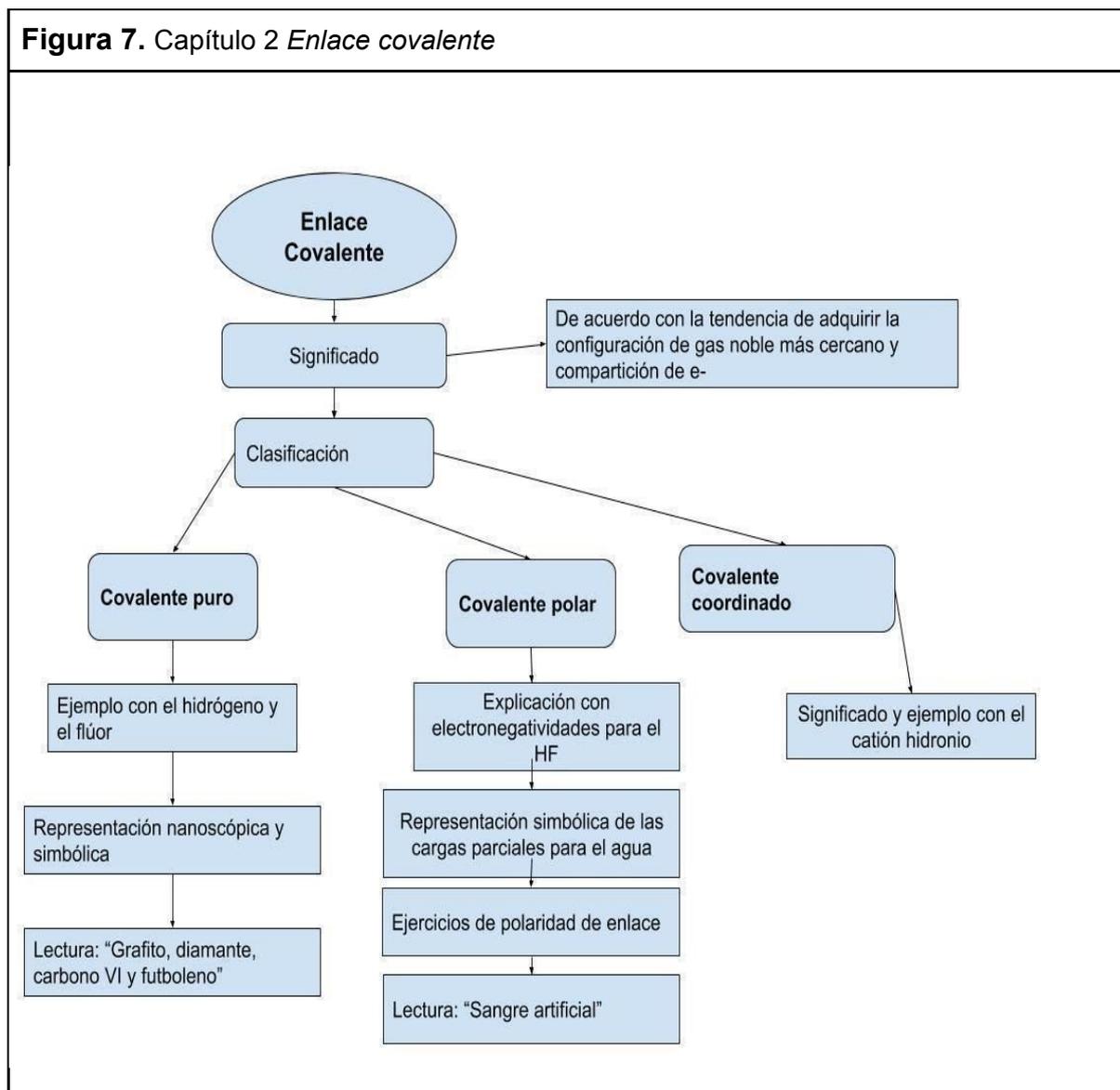


En la figura 6 se muestra la secuencia correspondiente al capítulo 1, nombrado *Enlace Iónico*. En primera instancia se detalla el significado del enlace iónico, posteriormente se dan ejemplos de cómo representarlos con modelos de Bohr entre un ion de sodio y un ion de cloruro; mientras que la segunda representación es a partir de una ecuación química entre un halógeno (cloro) con el metal alcalino sodio. Y la tercera representación es del cloruro de sodio en un plano sin detallar el porqué de ese acomodo. De acuerdo con Caamaño (2016) el presentar al enlace químico a partir de la representación de modelos de Bohr conlleva a generar concepciones alternativas sobre la importancia de la atracción eléctrica entre iones y la

generación de una red gigante., pues se induce a un pensamiento molecular sobre el cloruro de sodio.

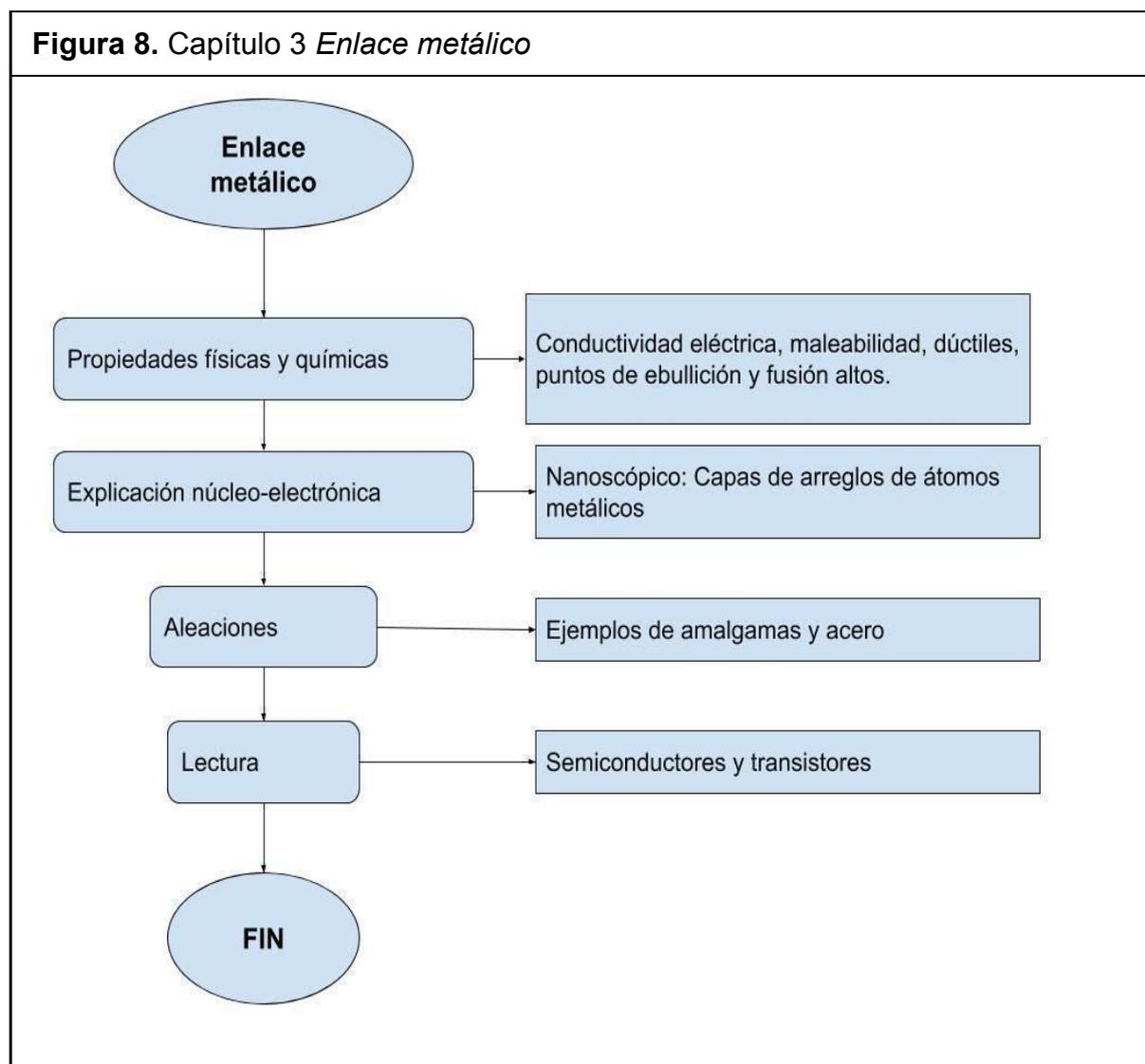
Posteriormente en el capítulo se da otros ejemplos de sustancias con enlaces iónicos y se dan a conocer las propiedades que caracterizan al enlace. Por último se detalla una lectura de ciertas piedras preciosas que tienen en su estructura interna al enlace iónico.

**Figura 7.** Capítulo 2 *Enlace covalente*



En la figura 7 se aborda el tema de enlace covalente, de igual modo que el capítulo anterior del enlace iónico, se empieza dando un breve significado del enlace covalente, y posteriormente se da una clasificación en: Covalente puro, polar y no polar de acuerdo con la diferencia de electronegatividad entre cada átomo. Se dan ejemplos de sustancias para cada tipo de enlace covalente y al final se dan pequeñas lecturas donde se relaciona al enlace con la situación contextual. Se puede observar claramente cómo se marca una categorización del

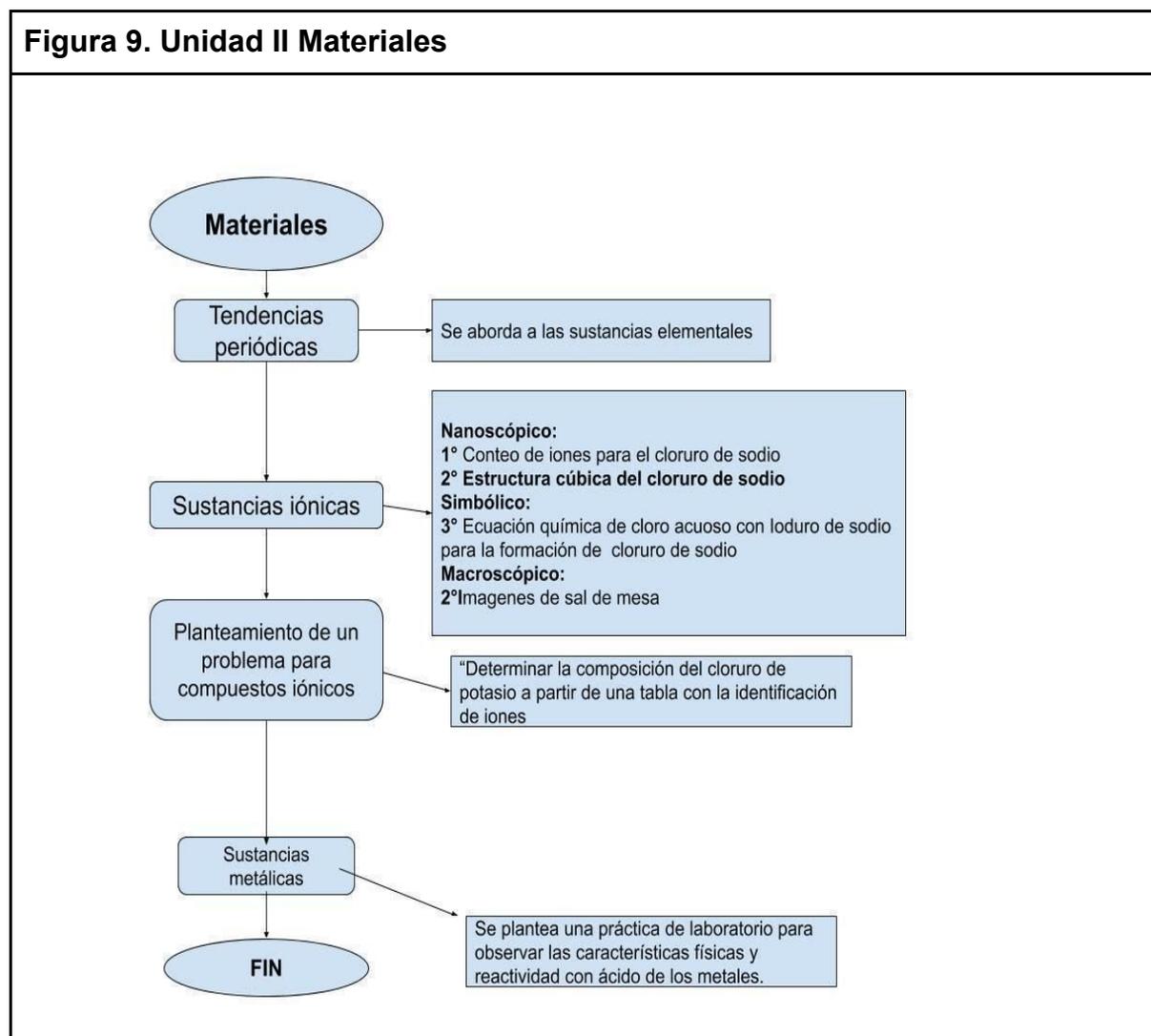
mismo enlace, dependiendo de sus propiedades y con las electronegatividades.



Finalmente, en la figura 8, donde se abarca al enlace metálico, se hace hincapié en las propiedades físicas que distinguen al enlace y posteriormente se explica a nivel nanoscópico el comportamiento de los electrones entre los metales. Posteriormente se detallan ejemplos de aleaciones entre metales y sus aplicaciones, así como una lectura sobre los semiconductores y transistores. De manera general se puede observar que en el libro *Tú y la Química*, la big idea de enlace químico se aborda a partir de una categorización, y se profundiza mucho en dar un significado general de lo que involucra este tipo de enlace. Cabe mencionar que es un libro de principios de este siglo y la didáctica que propone con las lecturas finales prometen un aprendizaje contextualizado. Sin embargo, no propone un lenguaje nuevo y deja de lado la representación estructural de las sustancias de acuerdo con la interacción de las partículas.

## Segundo libro: “Chemistry in the Community”.

Para el segundo libro se hizo primero el análisis de la unidad II donde se abordan a las sustancias iónicas y metálicas (figura 9). Y después en la unidad IV del libro se aborda al enlace covalente (figura 10).



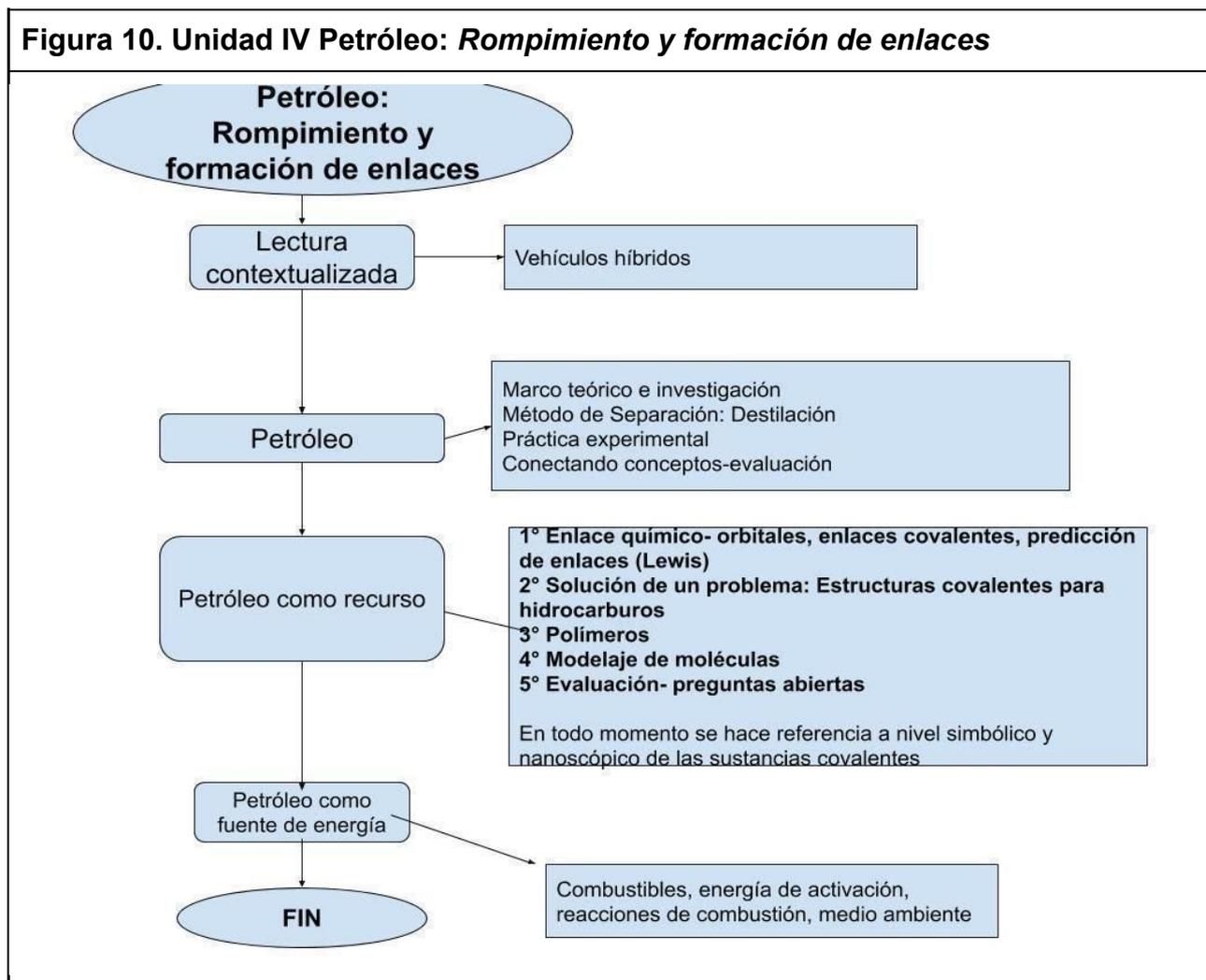
En la unidad II de este libro se explica detalladamente al enlace iónico y al enlace metálico de una manera diferente al libro “Tu y la Química”, pues aquí primero se introducen los elementos químicos en la naturaleza y sus propiedades periódicas, después se detalla cómo interaccionan entre sí los elementos metálicos con los no metálicos, mencionando la formación de sustancias iónicas, allí es donde se detalla más al enlace iónico tanto a nivel simbólico, como nanoscópico y macroscópico. Posteriormente en la misma unidad se establece una práctica experimental que propone el resolver un problema. Por último, se detalla a más profundidad a las sustancias metálicas con ayuda de otra práctica

experimental. Hasta este momento en el libro no se ha detallado la interacción entre núcleos y electrones, solamente se describe, ejemplifica y analiza con experimentos las sustancias iónicas y sustancias metálicas.

Posteriormente en la unidad IV con el nombre de *Petróleo: rompimiento y formación de enlaces*, primero se empieza con una lectura sobre los vehículos híbridos llevando al lector hacia las implicaciones de utilizar automóviles que no consumen gasolina como combustible. A partir de esto se plantea de manera general lo que es el petróleo y sus derivados, por lo que se introduce al petróleo como un recurso de gran uso en la vida cotidiana, y después se detallan los enlaces covalentes que conforman las sustancias derivadas del petróleo, empezando por los hidrocarburos y posteriormente los polímeros.

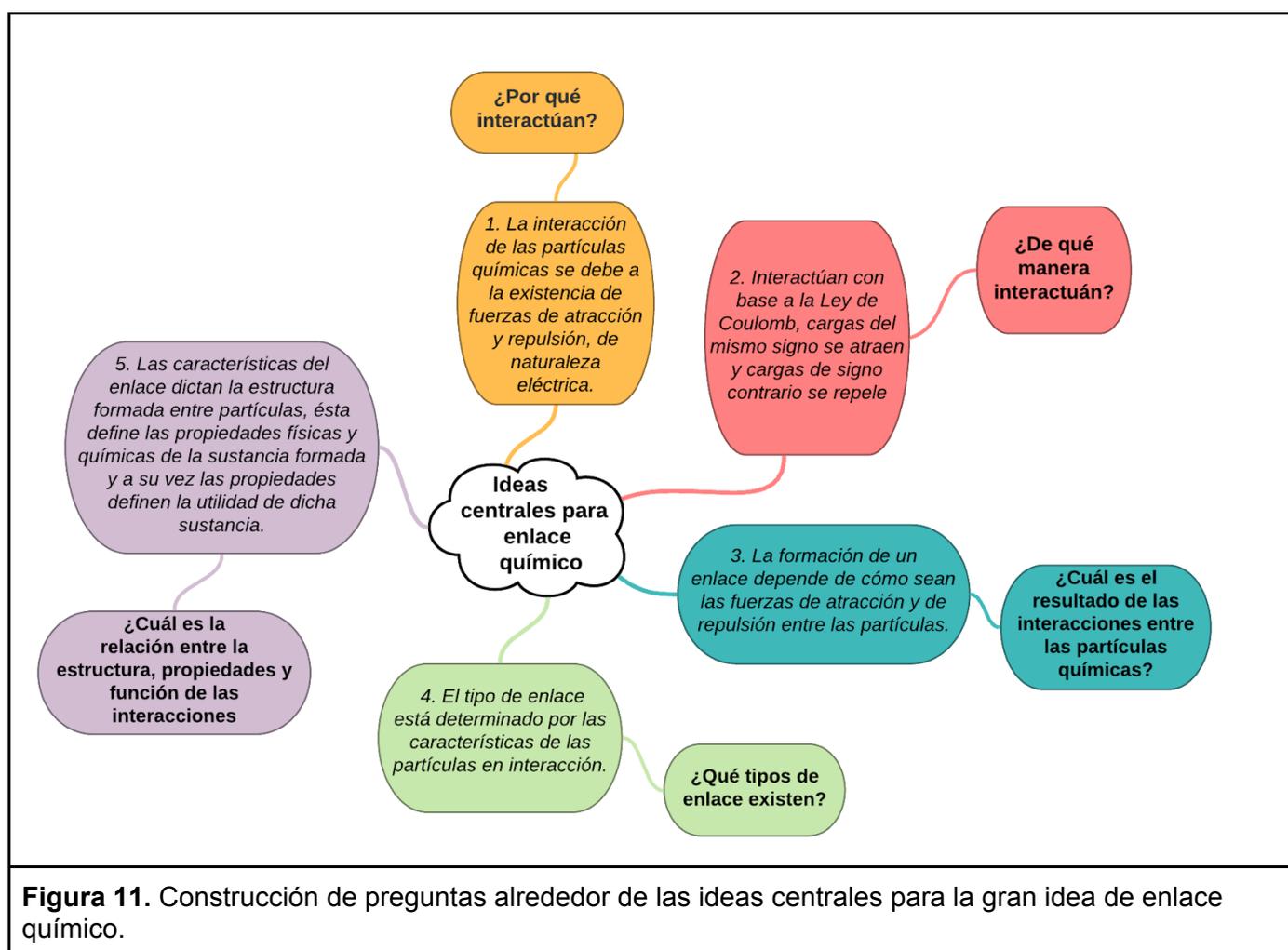
A partir del análisis para cada libro se obtienen dos miradas sobre cómo llevar a cabo la enseñanza aprendizaje del enlace químico para nivel bachillerato. De lo cual servirá como información para la construcción de la propuesta del modelo de progresión de aprendizaje, de lo cual se toma lo siguiente: El enlace químico necesita una visión más contextualizada donde se relacionen las funcionalidades de los materiales con sus propiedades y a su vez con la estructura de las sustancias.

**Figura 10. Unidad IV Petróleo: Rompimiento y formación de enlaces**



### 4.3 CONSTRUCCIÓN DE IDEAS CENTRALES

A partir de lo mencionado anteriormente, en esta parte de la investigación se llevó a cabo una reflexión más amplia sobre cuáles son los aspectos más importantes que circundan a la *big idea* de enlace químico, las cuáles pueden generar una conexión entre ideas y así tener un preámbulo del modelo de progresión de aprendizaje. Por ello, a partir de este cuestionamiento se desarrollaron cinco ideas que no estaban contempladas en los libros y tampoco en planes de estudio. En la figura 11 se pueden visualizar dichas cinco ideas directrices al modelo de progresión, ahora es importante destacar que a cada idea se le construyó una pregunta generadora para desarrollar un cuestionamiento en torno a la *big idea*.



La primera idea central que se construyó, figura 11, corresponde al enunciado en naranja: "La interacción de las partículas químicas se debe a la existencia de fuerzas de atracción y repulsión, de naturaleza eléctrica." Es importante resaltar que para esta idea el cuestionamiento que surge: *¿Por qué interactúan las partículas químicas?* responde a la

intención de dar a entender que la interacción de las partículas químicas (átomos, moléculas e iones) es de naturaleza eléctrica, y sobresaltar que se parte de fuerzas de atracción y de repulsión donde las de atracción ganan en su mayoría cuando ocurren, esta idea también se basa en lo que menciona Plinio Sosa en su artículo *De las interacciones de las sustancias al tetraedro*, pues va a ser importante y fundamental tener claro que las interacciones que ocurren son de naturaleza eléctrica. Ligada a esta idea surge otra, la que está en color rosa, donde se resalta la ley de cargas: *cargas iguales se repelen y cargas contrarias se atraen*; y cuando ocurren interacciones de atracción y repulsión, donde ganan las de atracción, entonces la pregunta a contestar es la siguiente: *¿De qué manera interactúan?*, respondiendo que es fundamental tener en cuenta dicha ley de cargas.

Ahora, respecto a qué resulta a partir de las interacciones entre las partículas está la conceptualización del enlace, por ello la tercera idea en color azul corresponde a: *La formación de un enlace depende de cómo sean las fuerzas de atracción y de repulsión entre partículas*, y con dicha idea se construyó su pregunta *¿Cuál es el resultado de las interacciones entre las partículas químicas?*, dando a entender que cuando ocurren interacciones entre partículas se genera un *enlace*.

Consecuente a la formación de enlace entre partículas en interacción surge el preguntarse *¿Qué tipos de enlace existen?*, y aquí viene una idea fundamental para comprender a la big idea: *el tipo de enlace está determinado por las características de las partículas en interacción*, es decir, dependiendo de qué partículas químicas interactúen se formará un enlace químico determinado, y con esto se deja a un lado la dicotomía de categorizar al enlace en sólo *iónico* o *covalente*.

Por último, la idea que surgió para secuenciar a las demás consta en la relación del enlace que se forma con las propiedades y estructura que lo caracterizan, idea en color morado: *las características del enlace dictan la estructura formada entre las partículas, ésta define las propiedades físicas y químicas de la sustancia formada y a su vez las propiedades definen la utilidad de dicha sustancia*. Por ello la pregunta a responder es: *¿cuál es la relación entre la estructura, propiedades y función de las sustancias?*

Con ayuda de la construcción de estas ideas se tiene un panorama de la reflexión determinante para guiar a la construcción del modelo de la progresión, pues es importante destacar que en libros y planes de estudio no está de manera rotunda la idea de las interacciones de naturaleza eléctrica, por lo que estas ideas se toman como base para la siguiente parte de la investigación.

#### 4.4 PROPUESTA DE UN MODELO DE PROGRESIÓN DE APRENDIZAJE PARA EL TEMA ENLACE QUÍMICO EN EL BACHILLERATO

Como se ha mencionado la propuesta del modelo de progresión de aprendizaje para enlace químico forma parte de un trabajo de investigación educativa, en la cual también se ha tomado en cuenta como referencia lo documentado hasta hoy sobre modelos de progresiones de aprendizaje: *Progresiones de aprendizaje: promesa y potencial* del autor Vicente Talanquer (2013), *Learning Progressions in Science* del autor Tom Corcoran (2016), *A proposed Learning progression for Matter and the Atomic-Molecular theory* de los autores Carol L. Smith, Marianne Wiser, Charles W. Anderson & Joseph Krajcik (2011). Con dichas investigaciones se tomaron los aspectos más relevantes para la progresión de aprendizaje. Por otro lado. se consideraron investigaciones sobre la enseñanza aprendizaje en torno al enlace químico: Enlace químico y estructura: El reto de integrar los distintos niveles estructurales de Aureli Caamaño (2016), *Teaching and learning the concept of chemical bonding* de los autores Nahum, Taber, T., Mamlok, K., Naham, R., & Hofstein, A. (2013) y *De las interacciones químicas al tetraedro de las sustancias* de Plinio Sosa (2009). De este modo se identificaron ciertas ideas relevantes en torno a la big idea para la construcción del modelo de progresión de aprendizaje. Una vez que se realizaron las preguntas de las ideas centrales mencionadas en la parte 4.3 , se jerarquizaron para cada curso anual de química en el bachillerato y se fueron ordenando de modo que se generaron puentes conceptuales entre un curso y otro.

El modelo de progresión propuesto contempla al enlace (a) como parte de una interacción y (b) como un proceso, parte del cambio químico.

#### ESTRUCTURA DEL MODELO DE PROGRESIÓN DE APRENDIZAJE:

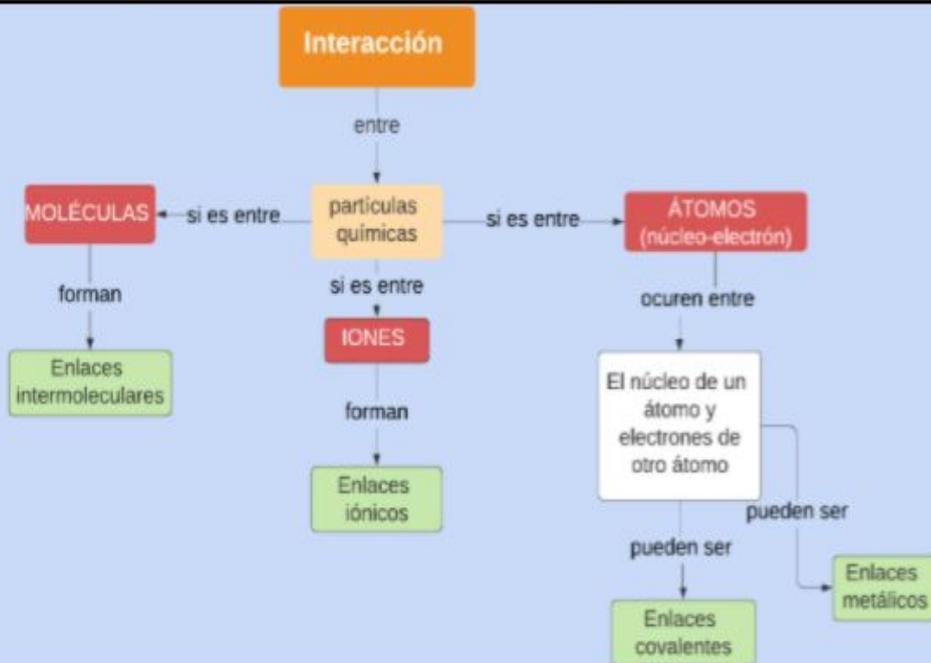
- Está dividido en tres partes:
  - Primera parte: Ideas sobre el modelo de enlace químico con las que el estudiante ingresa al bachillerato (Figura 12).
  - Segunda parte: Ideas sobre el modelo de enlace químico con las que el estudiante sale de su primer curso anual de química en el bachillerato (Figura 13).
  - Tercera parte: Ideas sobre el modelo de enlace químico con las que el estudiante sale del bachillerato (Figura 14).
- Los recuadros en naranja corresponden a las ideas iniciales que ayudan a entender el modelo de enlace químico.

- Los recuadros en azul corresponden a las ideas que construyen el modelo de enlace químico como interacción, mientras que los recuadros en rosa corresponden a las ideas que deben construirse para considerar al enlace químico como parte del proceso de cambio químico.
- Cada idea central tiene numeración ascendente: para las ideas de enlace químico como interacción van desde el número 3a hasta el 18a y para las ideas de enlace químico como parte del proceso de cambio químico van desde el número 4b hasta 9b.
- Las ideas 1a y 2a son generales y están consideradas como los pilares para entender las ideas subsecuentes.

**Figura 12. Primera parte del modelo de progresión de aprendizaje**

Parte 1. Ideas con las que se ingresa al primer curso de química del bachillerato	
1. ¿Cuáles son las partículas químicas?	Moléculas, Átomos, Iones
2. ¿Cuáles son los niveles estructurales de la materia?	1. Nanoscópico 2. Multimolecular 3. Macroscópico
3. Modelo de enlace como:	
3 a. Una interacción	3 b. Un proceso
4 a. ¿Por qué interactúan las partículas? La interacción se debe a la existencia de fuerzas de atracción y repulsión de naturaleza eléctrica, donde las atracciones ocurren en mayor medida	4 b. ¿Qué ocurre en un cambio químico? Cuando ocurren reacciones químicas, para la ruptura y formación de enlaces hay energía potencial involucrada
5 a. ¿De qué manera interactúan las partículas químicas? Con base en la Ley de Cargas	5 b. ¿De qué manera se puede representar al enlace químico como un proceso? Con las ecuaciones químicas
6 a. ¿Cuál es el resultado de la interacción entre las partículas químicas? La formación de un enlace químico	

**7 a. El enlace químico depende de las partículas que interactúan:**



**8 a. ¿Cómo se distinguen las propiedades de las sustancias?**

Dependiendo de cómo es la interacción entre partículas químicas y el enlace que se forma, habrá propiedades macroscópicas que los distinguen.

9 a. ¿Cómo se representa al enlace químico?	<p>Con <b>líneas</b> entre los átomos de un compuesto , donde un línea representa un par de electrones de valencia compartidos</p>
	<p>Con <b>diagrama de esferas</b>, donde los átomos se representan con esferas y al enlace químico se representa con el contacto entre las esferas</p>
	<p>Con <b>diagrama de esferas y barras</b>, donde los átomos se representan con esferas y los enlaces químicos se representan con una barra</p>
	<p>Con <b>fórmulas químicas</b>, donde está implícito que cada letra corresponde al átomo del elemento y los subíndices corresponden al número de átomos presentes . H<sub>2</sub>O</p>

SE IDENTIFICA AL MODELO DE ENLACE QUÍMICO COMO UNA INTERACCIÓN ELÉCTRICA ENTRE PARTÍCULAS QUÍMICAS; LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTÍCULAS QUE INTERACTUAN DETERMINAN EL TIPO DE ENLACE QUE SE FORMA Y SE CONCEPTUALIZA AL ENLACE COMO PARTE DEL PROCESO DE CAMBIO QUÍMICO.

La primera parte del modelo de progresión de aprendizaje (Figura 12) parte de las ideas sobre enlace químico, con las que los alumnos deberían ingresar al bachillerato. Primero es importante que se entienda cuáles son las partículas químicas: *moléculas, átomos e iones*. Después es importante hacer hincapié sobre los distintos niveles estructurales en los cuales podemos dar diversas explicaciones a los fenómenos que rodean a la materia: nanoscópico, multimolecular y macroscópico. Una vez que se tienen estas dos ideas, pasaremos a mencionar que el modelo de enlace químico puede verse con dos enfoques:

- (a) como una interacción química y
- (b) como parte del proceso de cambio químico.

Empezando por la interacción química, habrá que definir cómo interactúan las partículas químicas debido a la existencia de fuerzas de interacción y de repulsión de naturaleza eléctrica, donde las atracciones ocurren en mayor medida (idea 4 a). La manera en la que van a interactuar esas partículas químicas está relacionada con la ley de cargas, donde cargas eléctricas iguales se repelen y cargas eléctricas diferentes se atraen (idea 5 a). Ahora, ¿qué ocurre si interaccionan esas partículas químicas? y la respuesta está dada con la formación del enlace como parte de esa interacción de naturaleza eléctrica. Con la idea 7a se explica cómo el tipo de enlace químico que se forme dependerá de las características de las partículas que interactúan, pues si la interacción es entre moléculas se dará un enlace intermolecular, si la interacción es entre iones se formará un enlace iónico; y si la interacción es entre átomo y electrón (núcleo electrónicas) se van a formar enlaces metálicos o enlaces covalentes. La idea 7a está esbozada en un cuadro conceptual para clasificar lo que resulta cuando ocurren las interacciones entre partículas.

Una vez que se tienen claras las causas que llevan a la formación de los tipos de enlace descritos, podremos pasar a la idea 8a donde se abarca la relación entre la estructura y propiedades de las sustancias. En esta se abarca cómo dependiendo de la interacción química se forma un enlace característico y a su vez, a nivel macroscópico, se pueden distinguir las propiedades físicas o químicas para las sustancias.

Ahora es importante tener en cuenta la manera en la que se representa ese enlace químico, por ello en la siguiente idea se ve la representación simbólica para el enlace químico, con el fin de reducir la concepción alternativa sobre el enlace como parte de una cuerda o una unión mecánica. Entonces se procede a la enseñanza de representar al enlace con líneas, se dibuja una línea entre dos átomos de un compuesto para representar la interacción de naturaleza eléctrica entre las partículas químicas.

La segunda representación puede ser un diagrama en el que los átomos se representan

con esferas, y al enlace químico se le representa con el contacto entre dichas esferas. Y una tercera representación es el diagrama de esferas y barras, donde los átomos se representan con esferas y al enlace químico se le representa con una barra. También es importante destacar que la representación de los enlaces químicos está implícita en las fórmulas químicas, ya que cada símbolo representa al átomo del elemento y los subíndices corresponden al número de átomos presentes en el compuesto.

Una vez que se tienen secuenciadas las distintas ideas sobre el modelo de enlace químico como una interacción, se podría abarcar de manera simultánea las ideas que engloban al modelo de enlace químico como parte del proceso de cambio químico. La primera idea, 4 b, corresponde a la pregunta ¿qué ocurre en un cambio químico?, la respuesta debe llevar a la idea de ruptura de enlaces de reactivos y formación de nuevos enlaces en los productos. Y la idea 5b corresponde a la manera en la que se representa al enlace químico como parte del proceso de cambio químico, a partir de las ecuaciones químicas que lo representan.

Una vez construido el modelo de enlace químico como interacción y como parte del proceso de cambio químico, es importante resaltar la idea fundamental que engloba las anteriores: *identificar al modelo de enlace químico como una interacción eléctrica entre partículas químicas, donde las características de las partículas que interactúan determinan el tipo de enlace que se forma y se conceptualiza al enlace químico como parte del proceso de cambio químico.*

Este sería el punto de partida de la enseñanza de enlace químico en el bachillerato.

**Figura 13. Segunda parte del modelo de progresión de aprendizaje**

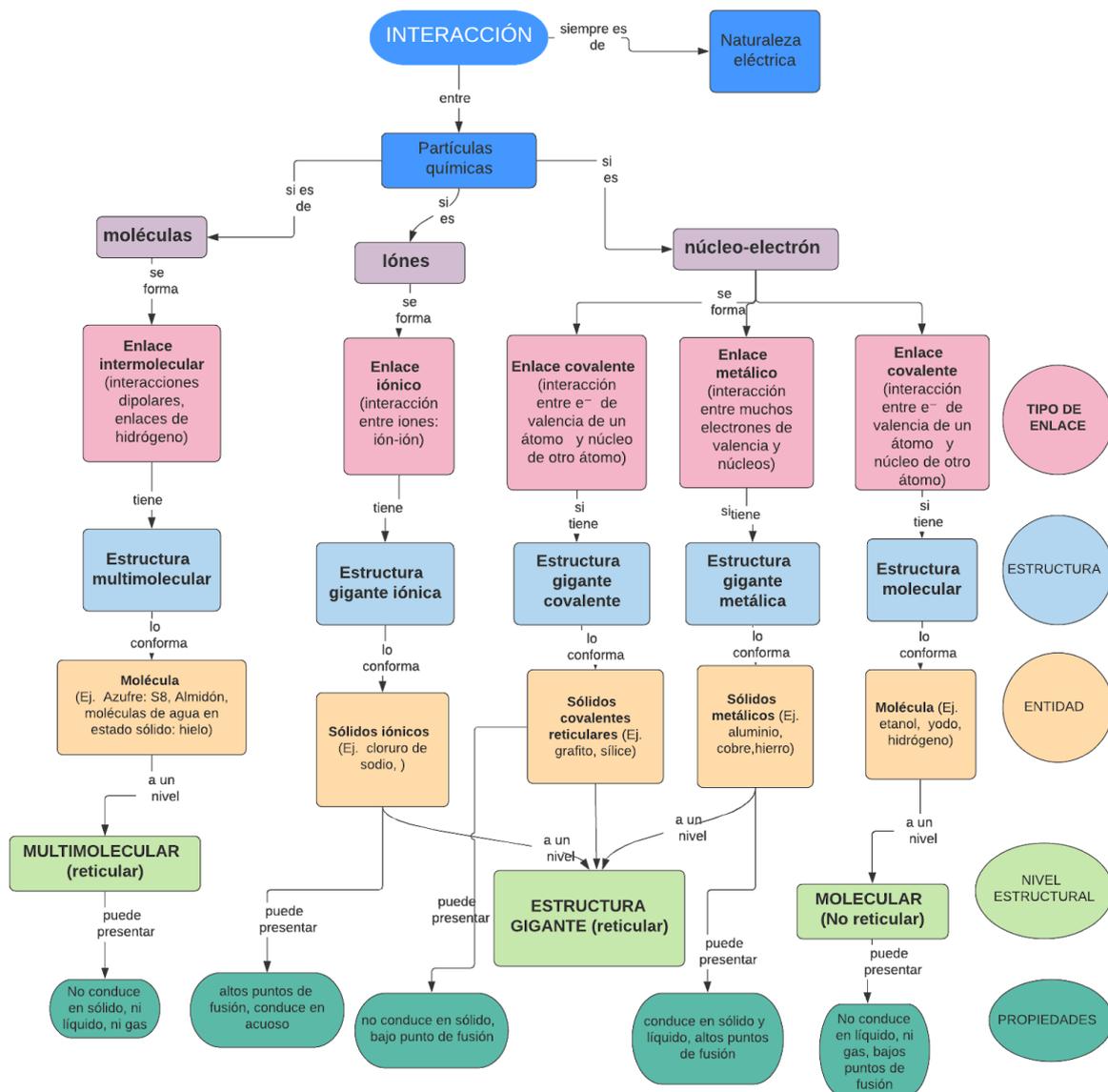
a. Enlace como interacción		b. Enlace como proceso químico	
10 a. ¿Cuál es la relación entre estructura-enlace?	Las características de las partículas que interactúan determinan el tipo de enlace y éste determina la estructura que tiene	6 b. ¿Cómo se define la energía potencial entre las sustancias?	La energía potencial es consecuencia de la magnitud de las fuerzas de interacción entre partículas y de la distancia que la separa. La energía potencial de partículas que se atraen unas a otras será mayor entre más grande sea la distancia que las separa
11 a. ¿Qué estructuras determinan a los diferentes enlaces?	Estructuras moleculares, multimoleculares y de red gigante	7 b. ¿Cómo se relaciona la energía potencial con el proceso de formación de enlace?	La formación de un enlace supone una disminución de la energía potencial

12 a. ¿Qué es una estructura de red gigante? Es un conjunto ininterrumpido de átomos o iones unidos entre sí

13 a. ¿Qué tipos de enlace se representan con estructuras de red gigante? Iónicas, covalentes, metálicas e intermoleculares

14 a. ¿Cómo es una estructura multimolecular en una sustancia? A partir de la interacción entre moléculas (intermoleculares) se generan redes multimoleculares

15 a. A partir de diversos niveles estructurales de la materia, se identifica el tipo de enlace que lo caracteriza:



16 a. ¿Cuál es la relación entre la estructura y las propiedades de las sustancias? La estructura determina las propiedades de las sustancias

SE IDENTIFICA AL ENLACE QUÍMICO COMO UN MODELO DE INTERACCIÓN ELÉCTRICA ENTRE PARTÍCULAS QUÍMICAS, DONDE DEPENDIENDO DE CÓMO SEA ESA INTERACCIÓN SE ADQUIRIRÁN DISTINTAS CARACTERÍSTICAS DE ENLACE Y SE CONCEPTUALIZA AL ENLACE COMO PARTE DEL PROCESO DE CAMBIO QUÍMICO. SE DISTINGUEN LOS DIVERSOS NIVELES ESTRUCTURALES PARA IDENTIFICAR QUE DEPENDIENDO DEL TIPO DE ENLACE SE GENERA UNA ESTRUCTURA QUE LA CARACTERIZA; Y LA ESTRUCTURA DETERMINA LAS PROPIEDAD DE LAS SUSTANCIAS Y MATERIALES.

En esta segunda parte de la progresión (figura 13) se continúa construyendo las dos características del enlace químico: como interacción y como parte del proceso de cambio químico. Como en toda progresión de aprendizaje, el nivel cognitivo en torno a la *big idea* va en aumento. Esta parte inicia con la idea 10a en donde se establece la relación entre estructura y enlace. Como ya se sabe que las características de las partículas que interactúan determinan el tipo de enlace, ahora se busca construir la relación enlace-estructura.

Estas estructuras se pueden clasificar en moleculares, multimoleculares y de redes gigantes. Hay que tener en cuenta que los tipos de enlace siguen prevaleciendo y en las representaciones estructurales con redes gigantes podemos tener enlaces de tipo iónico, covalente, metálicos e intermoleculares en estado sólido (Ideas 11a a 14a).

La idea 15 a, engloba lo anterior en un cuadro conceptual, donde se considera que si los enlaces son intermoleculares ya sea interacciones dipolares o de tipo enlaces de hidrógeno la estructura que se forma será multimolecular puesto que lo conforman moléculas; como ejemplos se tienen el azufre, el almidón y las moléculas de agua. Cuando la interacción es entre partículas iónicas se forma el enlace iónico conformando una entidad de estructura gigante iónica representados de manera reticular.

Por otro lado, si la interacción ocurre entre el núcleo de un átomo con los electrones de otro átomo (interacciones núcleo electrónicas) se pueden formar enlaces covalentes y enlaces metálicos. la diferencia radica en la naturaleza de cada átomo en interacción. Pues en los enlaces covalentes la interacción que ocurre sucede entre el electrón de valencia de un átomo y núcleo de otro átomo, mientras que en los enlaces metálicos es a partir del mismo elemento metálico donde la interacción es entre muchos electrones de valencia y núcleos del mismo tipo. Ahora, para hacer la diferencia entre los dos enlaces covalentes que están representados en el mapa conceptual hay que diferenciar su entidad estructural: las sustancias moleculares no son reticulares y pueden estar en estado sólido, líquido o gas, por ejemplo, las moléculas de etanol ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), yodo ( $\text{I}_2$ ) e hidrógeno ( $\text{H}_2$ ); y por otro lado están las sustancias sólidas de redes gigantes como el grafito o sílice. Y por último los enlaces covalentes están formados por el

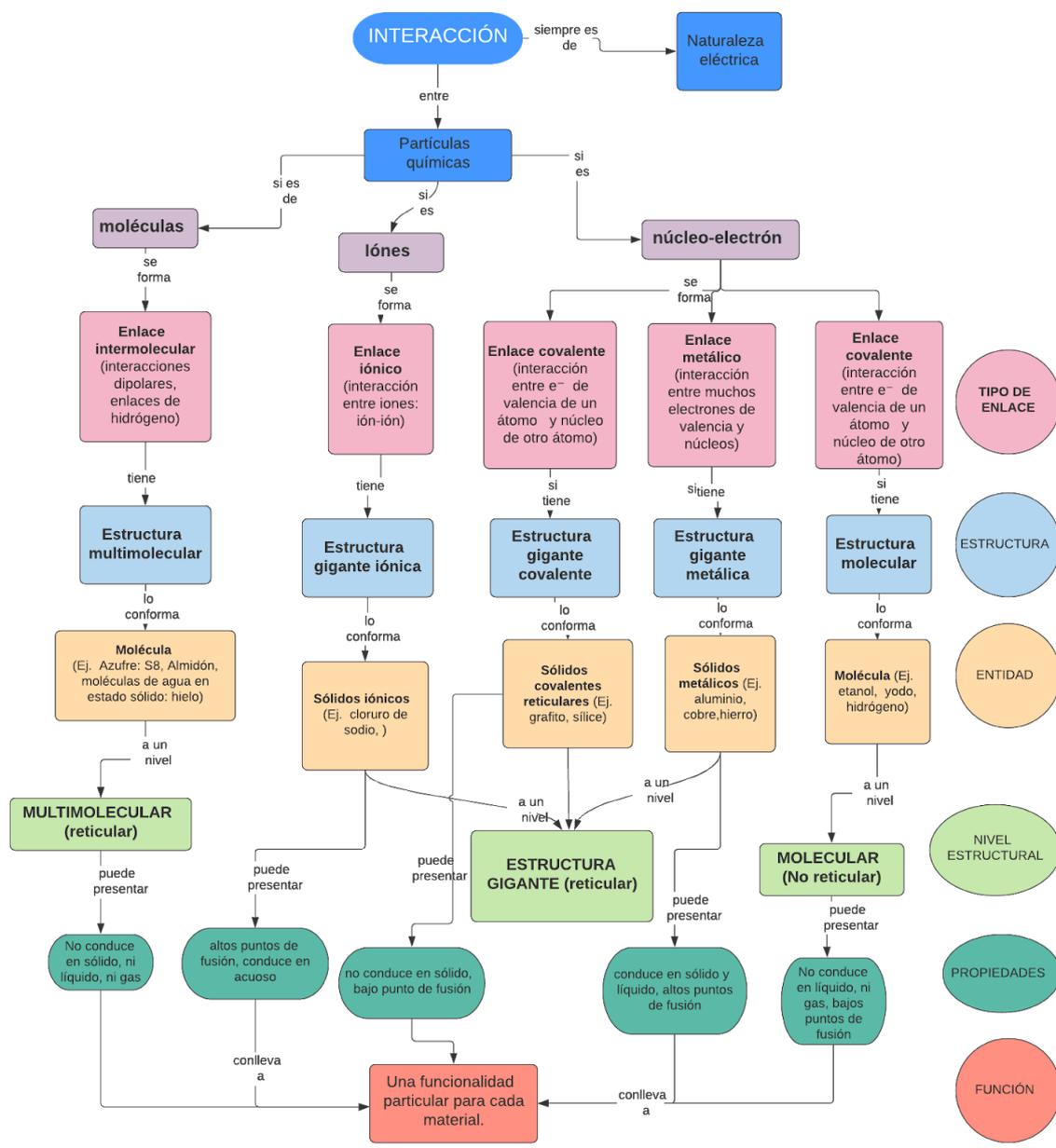
mismo átomo, donde los electrones de un metal interactúan con los núcleos atómicos adyacentes, se forma una entidad estructural de red gigante metálica. Cabe destacar que la estructura determinada para cada tipo de enlace formado por la interacción entre partículas va a determinar propiedades características para cada sustancia.

A partir de la idea 6b, se observa al enlace como parte del proceso de cambio químico y se inicia con la definición de la energía potencial entre las sustancias cuando ocurre un cambio químico. Esta energía es consecuencia de la magnitud de las fuerzas de interacción entre las partículas que forman el enlace y de la distancia que las separa; será mayor entre mayor sea la distancia.

La idea 7b corresponde a la relación entre la energía potencial y el proceso de formación de enlace en un cambio químico, ya que cuando se forma una nueva sustancia, al formarse un nuevo enlace, la energía potencial disminuye.

**Figura 14. Tercera parte de la progresión de aprendizaje: Salida del último año de bachillerato**

a. Enlace como interacción		b. Enlace como proceso químico	
17 a. ¿De qué manera se relaciona la estructura, las propiedades y la función de las sustancias?	La explicación y predicción de las funciones de los materiales: estructuras metálicas, alimentos, medicinas o textiles; implica analizar la estructuras e interacción eléctrica de las partículas químicas que lo componen.	8 b. ¿De qué manera está relacionada la energía de enlace con las interacciones intermoleculares	Si hay una mayor interacción entre moléculas de un mismo compuesto, se requerirá más energía para separarlas, esto afecta directamente al valor de las propiedades físicas como el punto de ebullición y de fusión del compuesto.
18 b. La relación entre interacción, estructura, propiedades y función de las sustancias se muestra en el siguiente cuadro:		9 b. ¿Cómo se relaciona la estabilidad de una molécula con la energía de reacción?	La energía de reacción da una idea de la estabilidad de la molécula de las especies químicas.



SE IDENTIFICA AL ENLACE QUÍMICO COMO UN MODELO DE INTERACCIÓN ELÉCTRICA ENTRE PARTÍCULAS QUÍMICAS, DONDE DEPENDIENDO DE CÓMO SEA ESA INTERACCIÓN SE ADQUIRIRÁN DISTINTAS CARACTERÍSTICAS DE ENLACE. Y SE CONCEPTUALIZA AL ENLACE COMO PARTE DE UN PROCESO EN EL CAMBIO QUÍMICO, DONDE LA ESTABILIDAD DE LAS SUSTANCIAS ESTÁ EN FUNCIÓN DE LA ENERGÍA DE REACCIÓN. SE DISTINGUEN LOS DIVERSOS NIVELES ESTRUCTURALES PARA IDENTIFICAR QUE DEPENDIENDO DEL TIPO DE ENLACE SE GENERA UNA ESTRUCTURA QUE LA CARACTERIZA; Y DEPENDIENDO DE LA ESTRUCTURA SE DERIVA UNA PROPIEDAD QUE LOS DISTINGUE Y A SU VEZ UNA FUNCIÓN EN CUALQUIER MATERIAL.

La última parte de la progresión de aprendizaje (figura 14), corresponde al fin del bachillerato e inicia con la idea 17a que corresponde a entender la relación que existe entre la estructura de las sustancias, las propiedades físicas y químicas de éstas y el uso que se les da, completando de esta forma la relación tetravalente que le da sentido al estudio del modelo de enlace: enlace-estructura-propiedades-función.

Uno de los objetivos principales será que el alumno construya una idea sobre la explicación y predicción de los usos de los materiales como las estructuras metálicas, los alimentos, las medicinas o los textiles, implica analizar las propiedades de las estructuras que se forman por el tipo de enlace que se forma en función de las características de las partículas químicas y el predominio de las fuerzas de atracción eléctrica entre ellas.

Con esto en mente pasamos a la idea 18a, que plantea la relación entre interacción-estructura-propiedades-función que es esencial para el entendimiento del comportamiento de los materiales que nos rodean. Y de igual modo que en la segunda parte de la progresión, en esta se complementa con la funcionalidad para cada material.

Por otro lado, la idea de enlace como parte del proceso de cambio químico, puede ayudar a no dejar de lado las consecuencias de la reactividad química en cuanto a la estabilidad de las sustancias, pues cuando existe una mayor interacción entre las moléculas de un mismo compuesto, se requerirá más energía para separarlas, y esto afecta directamente el valor de las propiedades físicas como son el punto de ebullición y de fusión de los compuestos.

En consecuencia, al finalizar el bachillerato los alumnos tendrían que distinguir los distintos niveles estructurales para identificar el tipo de enlace que caracteriza a una estructura determinada. Y también, que la estructura determina las propiedades físicas y químicas de las sustancias y el uso que le damos a los materiales. Otra de las ventajas de este modelo, es el integrar el estudio de la parte energética que envuelve al enlace químico, ya que el conceptualizarse como parte de un proceso de cambio químico, se comprenderá el balance energético de las energías involucradas entre la ruptura y la formación de enlaces y la relación de la energía de reacción con la estabilidad de las especies químicas producto de la reacción.

#### 4.5 HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN PARA EL MODELO DE PROGRESIÓN Y SU ANÁLISIS

Una vez terminada la propuesta de modelo de progresión de aprendizaje propuesto, y como se menciona en la metodología, apartado 3.2, se procedió a diseñar, aplicar y analizar tres herramientas de evaluación para tener una noción sobre la pertinencia del modelo propuesto sobre lo que se enseña actualmente sobre la *big idea* de enlace químico en el bachillerato en México.

Las tres herramientas de evaluación que se realizaron para cada uno de los tres momentos del bachillerato se diseñaron en la plataforma de *google forms*, y se enviaron por correo electrónico a los trece docentes de los diferentes subsistemas.

A continuación, se muestra el diseño de las tres herramientas de evaluación diseñadas y probadas con la muestra de docentes que se describió en 3.2. Y posteriormente se muestran los gráficos con la puntuación media para cada número de la escala likert (del uno al cinco en conformidad) correspondiente a cada pregunta final que se le hizo a los docentes de acuerdo a su opinión de las herramientas de evaluación, después se muestran los comentarios que los docentes escribieron acerca de la puntuación que eligieron.

##### Primera herramienta de evaluación.

Cuadro 4. Cuestionario de la primera evaluación. Corresponde al inicio de la progresión; ingreso al primer curso de química en el bachillerato.

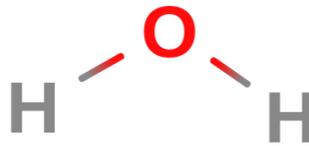
1. Indica el tipo de enlace que resulta de la interacción entre las partículas de los siguientes elementos químicos: (*Pregunta obtenida del libro "Ciencias 3: química" de Vicente Talanquer y Glinda Irazoque, tipo ENLACE*)

I. Carbono (C) con oxígeno (O)	II. Cobre (Cu) con cobre (Cu)	III. Ion potasio ( $K^{+1}$ ) con ion bromuro ( $Br^{-1}$ )
--------------------------------	-------------------------------	---

- a. I. Covalente; II. Metálico; III. Iónico  
b. I. Metálico; II. Iónico; III. Covalente  
c. I. Iónico; II. Covalente; III. Metálico  
d. I. Covalente; II. Iónico; III. Metálico

*Relación con la P.A: Idea 7A de nivel secundaria*

2. Selecciona el inciso que corresponda a la descripción de la representación del enlace covalente (O-H) en la molécula de agua: (*imagen tomada de "molview"*)



- La línea entre el hidrógeno y el oxígeno indica la interacción núcleo-electrónica que dirige a la compartición de electrones entre ellos.
- La línea entre el hidrógeno y el oxígeno, indica una interacción eléctrica entre las diversas moléculas. (concepción alternativa)
- La línea entre el hidrógeno y el oxígeno, indica la necesidad que tienen los electrones para unirse entre ellos. (analogía antropomórfica)
- La línea entre el hidrógeno y el oxígeno, indica la existencia de una fuerza mecánica entre las dos partículas. (concepción alternativa)

**Relación con la P.A: Idea 9a y 4a de nivel secundaria**

3. Seleccione el enunciado correcto para la molécula del ácido bromhídrico HBr, donde el electrón del átomo de hidrógeno interactúa con el núcleo del bromo y viceversa:

- Se forma un enlace iónico.
- No se forma ningún enlace.
- Se forma un enlace metálico.
- Se forma un enlace covalente.

**Relación con la P.A: Idea 7a de nivel secundaria.**

4. ¿Verdadero o falso? La razón por la que interactúan los iones cloruro con los iones sodio se debe a que presentan cargas contrarias. **verdadero** (Pregunta obtenida del libro "Chemical Misconceptions" de Keith Taber).

4.1 Selecciona el por qué de tu respuesta anterior:

- Porque, por la Ley de cargas; el ion cloruro es atraído por un ion que tiene la misma carga eléctrica del sodio. (analogía antropomórfica)
- Porque, por la Ley de cargas; cargas eléctricas opuestas se atraen y cargas eléctricas iguales se repelen.
- Porque, por la Ley de cargas; cargas eléctricas opuestas se repelen y cargas eléctricas iguales se atraen. (erróneo que se responde si se selecciona falso)
- Porque, por la Ley de cargas; el electrón del ion cloruro quiere ser transferido a la capa electrónica del ion de sodio.

**Relación con la P.A: Idea 4.A y 5.A de nivel secundaria.**

5. El mineral llamado bauxita tiene como principal componente el hidróxido de aluminio, de este mineral es extraído solamente el **aluminio** con el cual se fabrican las latas de refresco.

A partir de este contexto, contesta lo siguiente:

(Pregunta obtenida del libro "Ciencias 3: química" de Vicente Talanquer y Glinda Irazoque", tipo PISA)

5.1 ¿Qué tipo de enlace se forma debido a la interacción entre las partículas de aluminio de la lata?

- i. Enlace iónico
- ii. **Enlace metálico**
- iii. Enlace covalente
- iv. No forman enlace alguno

**Relación con la P.A: Idea 7A y 8A de nivel secundaria.**

5.2 ¿Cuál de las siguientes propiedades es característica del enlace que forma el aluminio?

- v. Baja temperatura de fusión.
- vi. Baja temperatura ebullición.
- vii. Baja conductividad térmica en estado sólido.
- viii. **Buen conductor de la corriente eléctrica en estado sólido.**

**Relación con la P.A: Idea 7A y 8A de nivel de nivel secundaria.**

PREGUNTAS PARA LOS DOCENTES AL TERMINAR LA EVALUACIÓN:

A. Con base en su experiencia docente, ¿considera usted que los estudiantes que ingresan al primer curso de química del bachillerato pueden responder con éxito esta evaluación?

- 1 - Totalmente en desacuerdo
- 2 - En desacuerdo
- 3 - Ni de acuerdo no en desacuerdo
- 4 - De acuerdo
- 5 - Totalmente de acuerdo

B. Con base en su experiencia docente, ¿considera usted que esta evaluación brinda información con respecto a los conocimientos, conceptuales y procedimentales, sobre el enlace químico que el alumno que ingresa al primer año de química en bachillerato debe tener?

- 1 - Totalmente en desacuerdo
- 2 - En desacuerdo
- 3 - Ni de acuerdo no en desacuerdo
- 4 - De acuerdo
- 5 - Totalmente de acuerdo

C. A continuación, explique el porqué de sus respuestas anteriores:

\_\_\_\_\_

—

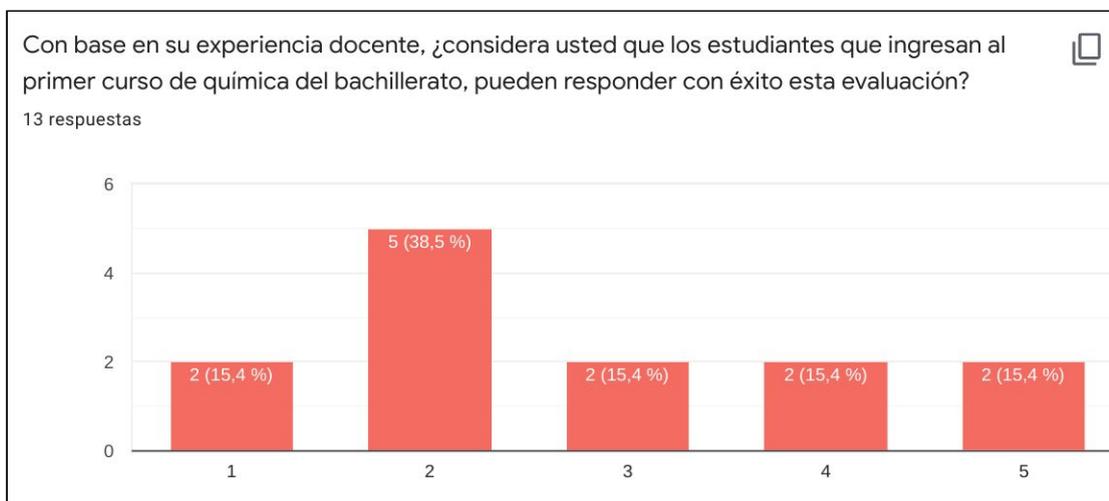
D. Le agradeceremos cualquier comentario extra que pueda ayudar a esta investigación:

\_\_\_\_\_

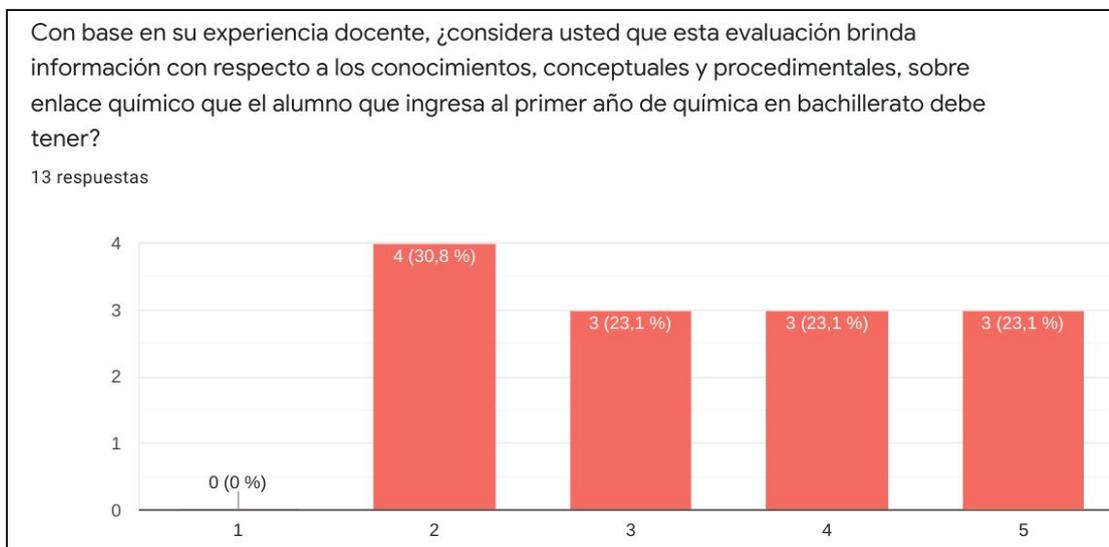
—

A partir de la primera herramienta de evaluación se hicieron los promedios por cada respuesta, a continuación, en los cuadros 4 y 5 se muestran los resultados.

Cuadro 5. Puntaje promedio de cada número de la escala Likert para la primera pregunta de acuerdo con su nivel de conformidad. (1: totalmente en desacuerdo, 5: totalmente de acuerdo).



Cuadro 6. Puntaje promedio de cada número de la escala Likert para la segunda pregunta de acuerdo con su nivel de conformidad. (1: totalmente en desacuerdo, 5: totalmente de acuerdo)



La puntuación total para las dos preguntas que se hicieron a los docentes resultó en el número tres de la escala Likert, esta indica que los docentes *no están ni de acuerdo ni en desacuerdo con que la evaluación sobre el modelo de enlace químico sea la adecuada para aplicar a sus estudiantes que ingresan al primer curso de química del bachillerato y que brinda la información sobre enlace químico cuando ingresen al bachillerato*. Estos resultados se interpretan abajo con las opiniones de los docentes.

➤ Opiniones de los docentes por cada reactivo:

Para el reactivo número 3 se opinó lo siguiente:

*En la pregunta 3 escriben "el electrón del átomo de hidrógeno" y después, anotan que "interacciona con el núcleo del bromo". Pueden confundir al estudiante con el manejo de estos términos, porque puede hacer un comparativo entre núcleo y átomo. Es mejor que se hable con términos similares, ¿en realidad es el núcleo quien interacciona o son los electrones de la última capa del bromo?*

*En la pregunta tres aun para los que saben del tema provoca ir al enlace covalente*

Los docentes opinan sobre la interacción que ocurre entre el hidrógeno y el bromo en el ácido bromhídrico, los estudiantes se pueden confundir con los términos del lenguaje: *atracción núcleo-electrónica*, pues es un lenguaje poco usado y reportado en la investigación educativa, por lo que en efecto los estudiantes no sabrían distinguirlo y por lo que se pretende incluir estos términos en el modelo de progresión de aprendizaje propuesto.

Para el reactivo número 4 y 4.1 se opinó lo siguiente:

*Combinan conocimientos de física y de química.  
¿Cómo saber si el estudiante sabe la Ley de Coulomb o sólo está respondiendo por simple deducción?*

*De reconocer que las cargas con signos contrarios se atraen, sin saber que existe Coulomb de por medio.*

*Podría extenderse al enlace iónico y contrastar la representación con la del covalente*

A partir de este comentario se modificó el término *ley de coulomb* con la *ley de cargas* para hacer referencia sobre cargas eléctricas iguales se repelen y cargas eléctricas contrarias se atraen. Cabe destacar que en el plan de estudios las leyes de cargas son contenidos que se abarcan desde el nivel básico secundaria y no podemos dejarlo atrás puesto que es un pilar para entender el comportamiento que se da entre partículas.

Para el reactivo número 5 se opinó lo siguiente:

*En la 5 menciona que el aluminio puede extraerse de la bauxita, esta información considero que está por demás, porque no se aplica en las preguntas y también puede confundir la atención del estudiante, podría pensar en qué tipo de enlace químico está presente en el mineral, y no en el metal-metal como tal.*

*En la pregunta 5 se da información no necesaria pero que confunde. Creo que redactando las preguntas con un lenguaje más sencillo (propio para el nivel medio superior) estas preguntas son adecuadas para el nivel educacional al que van dirigidas. Muchos de ellos sólo han visto la parte microscópica en secundaria, por lo cual la mayoría tendría bien preguntas como la 5.2*

A partir de los comentarios en este reactivo se toma en consideración el enfoque que se le da al contexto del reactivo y se realizaron cambios en redacción para evitar confusión sobre el aluminio.

Los comentarios generales que dejaron los docentes sobre la primera herramienta de evaluación son los siguientes:

Considero que algunas preguntas están elaboradas a partir de conceptos ya aplicados o bien explicaciones de un lenguaje nanoscópico con el que el estudiante todavía no está relacionado. Las preguntas requieren que el estudiante ya tenga más experiencia en el manejo del tema.

En gran parte las palabras usadas en las preguntas pueden generar confusión en el alumno, pues no se encuentran acostumbrados a cierto rigor en conceptos y escritura de iones. Muchos de ellos sólo han visto la parte microscópica en secundaria, por lo cual la mayoría tendría bien preguntas como la 5.2.

En general los alumnos que ingresan al primer año de bachillerato solamente reconocen 2 modelos de enlace (iónico y covalente), difícilmente conocen el modelo de enlace metálico. Por otra parte, el enlace iónico lo han aprendido como una transferencia de electrones y no como una interacción entre las cargas del catión y el anión.

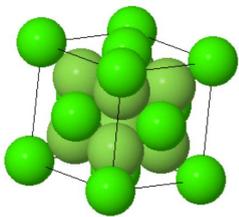
Los alumnos ingresan con conocimientos más asociados a las habilidades de memoria que de análisis, debido a que a los 15 años comienzan a transitar a las operaciones formales.

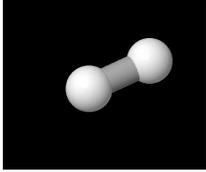
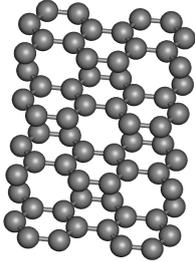
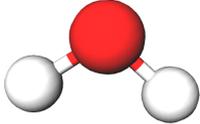
De acuerdo con los comentarios generales que hicieron los docentes sobre la primera herramienta de evaluación, se resalta el uso complicado del lenguaje, mencionando que hay palabras y conceptos los cuales los alumnos no están relacionados y que puede causar confusión. También se menciona sobre la enseñanza aprendizaje del enlace químico, resaltando que los estudiantes que ingresan al bachillerato sólo estarían familiarizados con el enlace covalente y el iónico, mientras que el metálico no lo han visto. Dicho comentario también se ha dejado claro en la investigación educativa, pues se ha documentado que el dar por hecho una categorización del enlace químico ha generado ideas erróneas sobre esta *big idea*, ejemplo está la dicotomía que existe entre el *enlace iónico y covalente*, dejando de lado el comportamiento que también ocurre entre las demás partículas químicas (Nahum, 2013). Debido a ello en la propuesta de este modelo de progresión de aprendizaje se parte de la idea central sobre la interacción de naturaleza eléctrica entre partículas químicas, y que dependiendo de cómo sea esa interacción será el enlace formado. También por ello es importante mencionar los diferentes niveles representacionales en la química; para tener en cuenta que el *enlace* es un modelo para representar la interacción entre partículas de naturaleza eléctrica.

### **Segunda herramienta de evaluación.**

Cuadro 7. Evaluación correspondiente al segundo momento de la progresión de aprendizaje: Se sugiere aplicar al finalizar el primer año (2 semestres si es CCH) de química del bachillerato.

1. En el siguiente se muestra para cada sustancia el nombre, su fórmula química y su representación estructural. Indica el inciso que corresponda a una sustancia con una red gigante covalente.

Inciso	Sustancia	Representación simbólica	Representación estructural
(a)	Fluoruro de calcio	$\text{CaF}_2$	

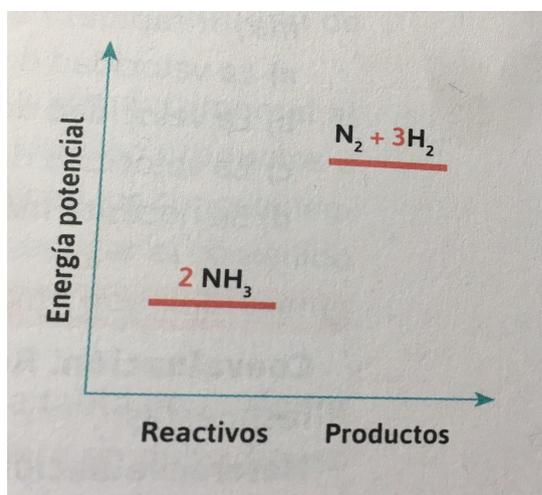
(b)	Hidrógeno	$H_2$	
(c)	Grafito	C	
(d)	Agua	$H_2O$	

*Relación con la P.A: Idea 16A de nivel bachillerato 1er año.*

2. El siguiente es un diagrama de energía potencial que muestra la reacción de descomposición del amoníaco.

Selecciona el inciso que corresponda a una aseveración respecto a este cambio químico:

*(Imagen tomada del libro "Ciencias 3: química" de Vicente Talanquer y Glinda Irazoque"*



- La energía potencial del nitrógeno y el hidrógeno moleculares es mayor.
- La energía potencial del nitrógeno y el hidrógeno moleculares es menor.

- c. El enlace entre el hidrógeno y el nitrógeno de la molécula de amoniaco debe liberar energía.
- d. La energía que guarda la molécula de amoniaco es liberada para la formación del nitrógeno y el hidrógeno.

**Relación con la P.A: Idea 7b de nivel bachillerato 1er año.**

3. La interacción entre cationes y aniones lleva a la formación de enlaces iónicos, como ejemplo está la red gigante iónica del cloruro de sodio, la famosa sal de mesa. Con base en los siguientes enunciados, ¿qué propiedad caracteriza a esta sustancia? (Obtenida y adaptada de los reactivos de la serie de la Dra. Flor Reyes)

- a. Es poco soluble en agua.
- b. Tiene bajo punto de fusión.
- c. Puede conducir electricidad en estado sólido.
- d. **Conduce la corriente eléctrica en disolución acuosa.**

**Relación con la P.A: Idea 16A de nivel bachillerato 1er año**

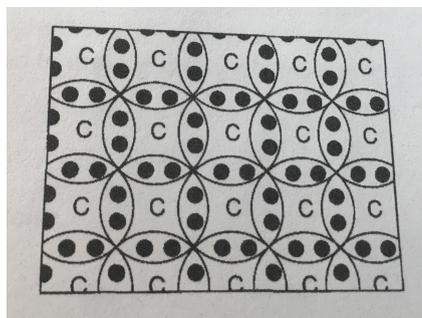
4. ¿Verdadero o falso? El hierro es buen conductor de la electricidad porque sus cationes pueden deslizarse entre sí y moverse a través del sólido. (Pregunta obtenida del libro "Chemical Misconceptions" de Keith Taber) **Falso**

4.1 Selecciona el por qué de tu respuesta anterior. La buena conductividad eléctrica del hierro es debida a:

- a. Que sus partículas tienen la capacidad de formar una red gigante, porque quieren ser conductores eléctricos.
- b. Que los cationes de hierro están deslocalizados de su nube electrónica lo que les permite que la corriente eléctrica fluya a través del metal.
- c. Que, al ser un metal, está constituido solamente de iones positivos (cationes) y estos tienen la característica de ser buenos conductores eléctricos.
- d. **Que sus cationes están fijos formando una estructura de red gigante, y son los electrones de valencia los que se mueven y permiten que la corriente eléctrica fluya a través del metal.**

**Relación con la P.A: Idea 15.A y 16.A de nivel bachillerato 1er año.**

5. El diamante que está compuesto de átomos de carbono y tiene la siguiente estructura molecular (Imagen tomada de "Chemical Misconceptions" de Keith Taber):



5.1 ¿Qué tipo de enlace se forma por la interacción entre los átomos de carbono?

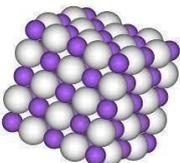
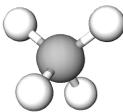
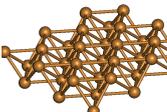
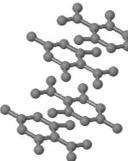
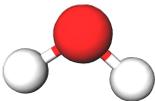
- a) Enlace iónico
- b) Enlace metálico
- c) **Enlace covalente**
- d) No forman enlace alguno

5.2 ¿Cuál de las siguientes es la causa de la interacción entre los átomos de carbono?

- a) La interacción ocurre entre el ion positivo del carbono con el electrón de valencia del otro átomo de carbono para que cumpla su octeto. *(errónea)*
- b) La interacción ocurre entre dos moléculas de carbono a partir de una compartición de electrones de la capa de valencia para cumplir el octeto. *(concepción alternativa)*
- c) **La interacción ocurre entre el electrón de valencia de un átomo de carbono con el núcleo de otro átomo de carbono, generando un par de electrones compartidos.**
- d) La interacción ocurre porque el electrón de valencia de un átomo de carbono quiere unirse con el núcleo de otro átomo de carbono, generando un par de electrones compartidos. *(analogía antropomórfica)*

*Relación con la P.A: Idea 14 a, 15a y 16 a de primer nivel bachillerato.*

6. Con base en los modelos que se muestran en los siguientes recuadros, responde las preguntas 6.1 y 6.2 (Obtenida y adaptada de los reactivos de la serie de la Dra. Flor Reyes)

NaH (s)	CH <sub>4</sub> (g)	Cu (s)	C (s)	HF	H <sub>2</sub> O
					

6.1 ¿Cuál de los siguientes pares de sustancias tienen enlaces covalentes?

- A. NaH y C
- B. HF y Cu
- C. **CH<sub>4</sub> y C**
- D. H<sub>2</sub>O y NaH

6.2 ¿Cuál de los siguientes pares de sustancias son moléculas polares?

- A. NaH y H<sub>2</sub>O
- B. HF y CH<sub>4</sub>
- C. Cu y C
- D. HF y H<sub>2</sub>O

PREGUNTAS PARA LOS DOCENTES AL TERMINAR LA EVALUACIÓN:

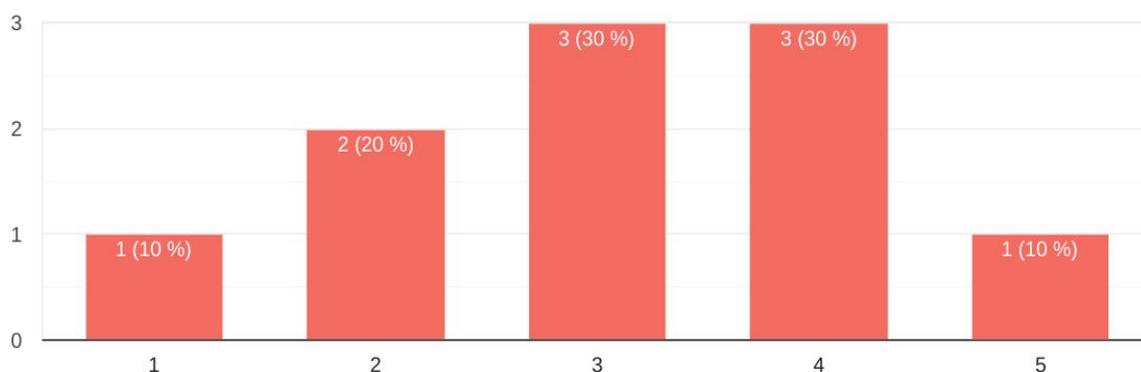
- A. Con base en su experiencia docente, ¿considera usted que los estudiantes que egresan del primer año de química del bachillerato pueden responder con éxito esta evaluación?
  - 1 - Totalmente en desacuerdo
  - 2 - En desacuerdo
  - 3 - Ni de acuerdo no en desacuerdo
  - 4 - De acuerdo
  - 5 - Totalmente de acuerdo
  
- B. Con base en su experiencia docente, ¿considera usted que la evaluación cubre los objetivos de aprendizajes del tema enlace químico del primer año de química del bachillerato?
  - 1 - Totalmente en desacuerdo
  - 2 - En desacuerdo
  - 3 - Ni de acuerdo no en desacuerdo
  - 4 - De acuerdo
  - 5 - Totalmente de acuerdo
  
- C. A continuación, explique el porqué de sus respuestas anteriores:  
\_\_\_\_\_
  
- D. Le agradeceremos cualquier comentario extra que pueda ayudar a esta investigación:  
\_\_\_\_\_

A partir de la segunda herramienta de evaluación se hicieron los promedios por cada respuesta, a continuación, en los cuadros 7 y 8 se muestran los resultados.

Cuadro 8. Puntaje promedio de cada número de la escala Likert para la primer pregunta de acuerdo a su nivel de conformidad en segunda herramienta de evaluación. (1: totalmente en desacuerdo, 5: totalmente de acuerdo).

Con base en su experiencia docente, ¿considera usted que los estudiantes que egresan del primer año de química del bachillerato pueden responder con éxito esta evaluación ?

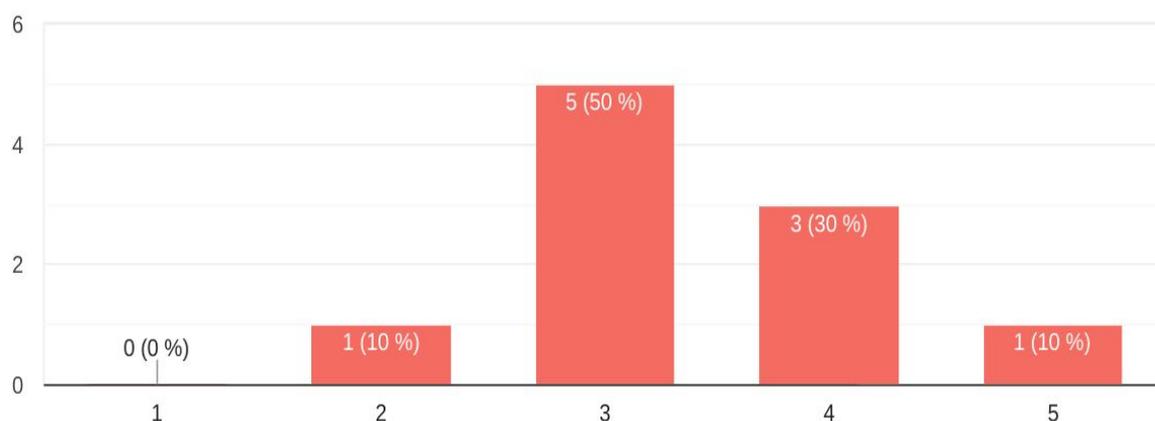
10 respuestas



Cuadro 9. Puntaje promedio de cada número de la escala Likert para la segunda pregunta de acuerdo a su nivel de conformidad para la segunda herramienta de evaluación . (1: totalmente en desacuerdo, 5: totalmente de acuerdo)

Con base en su experiencia docente, ¿considera usted que la evaluación cubre los objetivos de aprendizajes del tema enlace químico del primer año de química del bachillerato?

10 respuestas



La puntuación media de las dos preguntas finales que se hicieron a los docentes se encuentra en el número tres de Likert, cuadro 8 y 9, indicando que no están ni de acuerdo ni

en desacuerdo con que la evaluación sobre el modelo de enlace químico sea la adecuada para aplicar a sus estudiantes que ya aprobaron el primer año de química en bachillerato. Y de igual modo que la primera herramienta de evaluación, consideran un nivel de conformidad intermedio que con esta evaluación se puedan cubrir los objetivos planteados para ese curso de química.

- Opiniones de los docentes por cada reactivo:

Para el reactivo número 6 se opinó lo siguiente:

*Las preguntas 6, 6.1 y 6.2 son muy complejas, difícilmente un alumno a partir de los modelos presentados en 6 podrá contestar 6.1. Pero el problema más fuerte se encuentra en 6.2, ya que los modelos en 6 no aportan ninguna información para que el alumno pueda decir si la molécula es polar o no. El estudiante podría deducir que en esa sustancia hay presentes enlaces metálicos, iónicos, covalentes o covalentes polares, pero un alumno de primer año de bachillerato no tiene los aprendizajes sobre geometría molecular que le lleve a decidir si una molécula es o no polar.*

*El enlace metálico se aborda hasta el 3er semestre y es una materia optativa, así que en el primer año solo se trata temas como: interacciones intermoleculares (puente de hidrógeno), modelo covalente y el iónico.*

En los comentarios se hace mención sobre la dificultad que les resultaría a los estudiantes entender los modelos de las estructuras de las sustancias, y de igual modo que en la herramienta pasada, se vuelve a mencionar que el enlace metálico no se aborda hasta el último año del bachillerato.

Para el reactivo número 3 se opinó lo siguiente:

*El programa pide que con base en las diferencias de electronegatividad de Pauling se clasifique el modelo de enlace como iónico, covalente y covalente polar. El modelo de enlace presente en un compuesto se relaciona con propiedades físicas como ocurren en la pregunta 3 de este cuestionario. Sin embargo, las preguntas demandan mayores conocimientos para que sean respondidas satisfactoriamente.*

En el comentario para el reactivo tres involucra un detenimiento en el plan de estudios, y pues como se mencionó en 4.1, el plan de estudios enfoca al enlace químico con base en la diferencia de electronegatividades entre los elementos, para que de esa forma se pueda categorizar en iónico y covalente. De nuevo, se está generando una dicotomía entre esos conceptos. Y de igual modo que el reactivo seis de esta herramienta se vuelve a mencionar una complejidad en las preguntas respecto a los conocimientos que deberían tener los estudiantes.

Los comentarios generales de la segunda herramienta de evaluación son los siguientes:

*El modelo que usas en la pregunta 5, me resulta extraño.*

*En el caso de energía de enlace sí es visto, pero en el caso de redes covalentes y iónicas pocos profesores lo ven de manera completa.*

*Me parece muy elevado, por lo menos en el sistema de bachillerato para el que trabajo.*

*En el caso del programa de química no está de manera explícita que se tengan que ver los modelos de como en la pregunta 6 para el tipo de enlace por lo que los profesores no necesariamente los estudiamos por lo que los alumnos no necesariamente lo relacionarían con el modelo de enlace*

De acuerdo con los comentarios particulares de los reactivos, así como los comentarios generales de toda la herramienta de evaluación, se sigue mencionando una complejidad en el lenguaje utilizando en los reactivos. Y se resalta que los profesores no necesariamente están familiarizados con los modelos de enlace que se pretenden cuestionar en los reactivos. De lo cual, en efecto, el lenguaje utilizado es nuevo de acuerdo con lo que se menciona en planes de estudio y libros de texto. Sin embargo, se pretende que con el modelo de aprendizaje propuesto se pueda tener un panorama de cómo puede ir progresando las ideas que rodean a la big idea de acuerdo con las nuevas propuestas en la investigación educativa.

### **Tercera herramienta de evaluación.**

Cuadro 10. Evaluación correspondiente al tercer momento de la progresión de aprendizaje: al terminar el segundo año (dos semestres si es CCH) de química del bachillerato.

1. Selecciona el inciso que describa alguna característica de los puentes de hidrógeno:

- a) Los puentes de hidrógeno se forman siempre que hay en una molécula un átomo de hidrógeno. (concepción alternativa)
- b) Los puentes de hidrógeno son enlaces débiles formados solamente entre moléculas de agua debido a que son moléculas polares. (concepción alternativa)
- c) En los enlaces por puentes de hidrógeno los átomos del hidrógeno en una molécula quieren formar una unión con el elemento más electronegativo de la otra molécula. (analogía antropomórfica)
- d) Los puentes de hidrógeno son el resultado de fuerzas de atracción electrostática: la carga parcial positiva del hidrógeno de una molécula atrae a la carga parcial negativa de otra molécula. (verdadera)

**Relación con la P.A: Idea 7b de nivel bachillerato último año.**

2. De acuerdo con la información de la siguiente tabla, responde las preguntas subsecuentes: (tomada del libro "Chemistry" de Glencoe). Usando únicamente los datos de la tabla

Propiedades físicas			
Compuesto	Tipo de enlace	Punto de fusión (°C)	Punto de ebullición (°C)
F <sub>2</sub>	Covalente no polar	-220	-188
CH <sub>4</sub>	Covalente no polar	-183	-162
NH <sub>3</sub>	Covalente polar	-78	-33
CH <sub>3</sub> Cl	Covalente polar	-64	-24
KBr	Iónico	730	1435
CsF	Iónico	x	1251

2.1 Supón que se descubre un nuevo compuesto, del cual se sabe que tiene una geometría molecular como el amoníaco y su punto de fusión es de -70 °C. ¿Cuál de las siguientes frases será verdadera?

- El compuesto tiene enlaces iónicos.
- El compuesto tiene enlaces covalentes polares.**
- El compuesto tiene enlaces covalentes no polares.
- El compuesto tiene una característica intermedia entre los enlaces covalente polar y no polar.

2.2 Con la información de la tabla ¿Cuál será el punto de fusión del compuesto fluoruro de cesio?

- 2375 °C
- 1500 °C

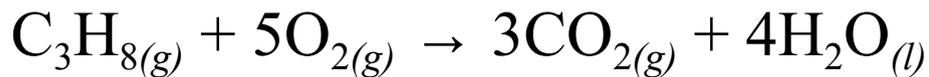
- vii. 682 °C  
viii. -170 °C

**Relación con la P.A: Idea 16 a de nivel bachillerato primer año.**

3. Señale cuál de las siguientes especies químicas será conductora de la electricidad:  
(Obtenida de los reactivos de la serie de la Dra. Flor Reyes )
- a) I<sub>2</sub>  
b) **Rb**  
c) KI (s)  
d) NaCl (s)

**Relación con la P.A: Idea 16 a de nivel bachillerato primer año.**

4. El gas propano ha sido utilizado como un combustible para la calefacción en hogares. A partir de su reacción de combustión y la siguiente tabla responde las preguntas subsecuentes: (Obtenida y adaptada de los reactivos de la serie de la Dra. Glinda Irazoque)



Tipo de enlace	C – C	C – H	O = O	C = O	H – O
Energía (kJ/mol)	348	413	497	795	492

	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
Estructuras de Lewis	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} & \text{H} \\   &   &   \\ \text{H} : \text{C} : & : \text{C} : & : \text{C} : \text{H} \\   &   &   \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \cdot\cdot & & \cdot\cdot \\ \cdot\cdot & = & \cdot\cdot \\ \cdot\cdot & & \cdot\cdot \end{array}$	$\begin{array}{c} \cdot\cdot & & \cdot\cdot \\ \cdot\cdot & = & \text{C} = & \cdot\cdot \\ \cdot\cdot & & \cdot\cdot \end{array}$	$\begin{array}{c} \cdot\cdot & & \cdot\cdot \\ & \cdot & \\ & \text{O} & \\ & \cdot & \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$

4.1 ¿Cuáles serán los enlaces que consumen energía para la reacción de combustión del propano?

- a. C-C, H-O  
b. C=O, H-O  
c. **C-C, C-H, O=O**  
d. C=O, H-O, O=O

4.2 ¿Cuál será el total de la energía liberada en la reacción de combustión del propano?

- a. 1,258 kJ/mol
- b. 1,287 kJ/mol
- c. 6,485 kJ/mol
- d. 8,706 kJ/mol

*Relación con la P.A: Idea 6b y 7b del último año del bachillerato.*

PREGUNTAS PARA LOS DOCENTES AL TERMINAR LA EVALUACIÓN:

A. Con base en su experiencia docente, ¿considera usted que los estudiantes que ya cursaron el último año de química del bachillerato pueden responder con éxito esta evaluación?

- 1 - Totalmente en desacuerdo
- 2 - En desacuerdo
- 3 - Ni de acuerdo no en desacuerdo
- 4 - De acuerdo
- 5 - Totalmente de acuerdo

B. Con base en su experiencia docente, ¿considera usted que la evaluación cubre los objetivos de aprendizaje del tema enlace químico del último año de química del bachillerato?

- 1 - Totalmente en desacuerdo
- 2 - En desacuerdo
- 3 - Ni de acuerdo no en desacuerdo
- 4 - De acuerdo
- 5 - Totalmente de acuerdo

C. A continuación, explique el porqué de sus respuestas anteriores:

\_\_\_\_\_

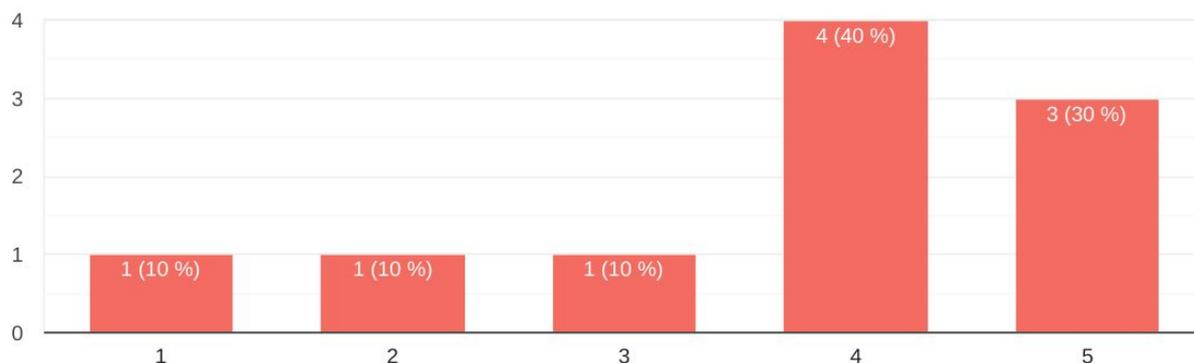
D. Le agradeceremos cualquier comentario extra que pueda ayudar a esta investigación:

\_\_\_\_\_

Cuadro 11. Puntaje promedio de cada número de la escala Likert para la primer pregunta de acuerdo a su nivel de conformidad en la tercera herramienta de evaluación. (1: totalmente en desacuerdo, 5: totalmente de acuerdo)

Con base en su experiencia docente, ¿considera usted que los estudiantes que ya cursaron el último año de química del bachillerato pueden responder con éxito esta evaluación?

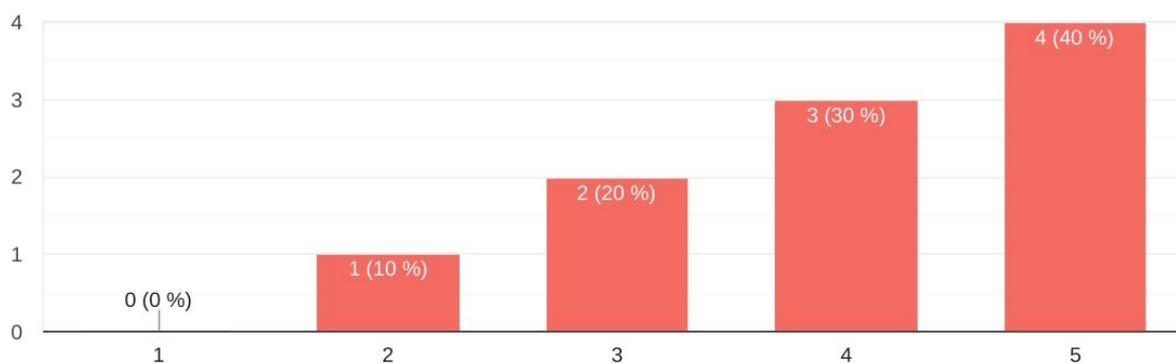
10 respuestas



Cuadro 12. Puntaje promedio de cada número de la escala Likert para la primera pregunta de acuerdo con su nivel de conformidad en la tercera herramienta de evaluación. (1: totalmente en desacuerdo, 5: totalmente de acuerdo)

Con base en su experiencia docente, ¿considera usted que la evaluación cubre los objetivos de aprendizaje del tema enlace químico del último año de química del bachillerato?

10 respuestas



La puntuación promedio en escala Likert se encuentra en el número cuatro, cuadro 11 y 12, esto indica que los profesores *están de acuerdo* con que la evaluación sobre el modelo de enlace químico sea la adecuada para aplicar a sus estudiantes que egresan del bachillerato. Esto quiere decir que los estudiantes que egresan del bachillerato pueden resolver los reactivos y esta herramienta de evaluación sí se ajustaría a los aprendizajes que se enseñan en ese grado.

➤ Opiniones de los docentes de los reactivos y herramienta de evaluación

*La pregunta que me surge es ¿Cómo se relaciona la información de la pregunta 4 con las preguntas 4.1 y 4.2 sobre energía con el modelo de enlace? Que según entiendo, son el centro de la evaluación.*

*En el caso del programa de Química IV (ENP) no se encuentra la temática de entalpía o calcular la energía de combustión por lo que tal vez esta pregunta no la podrían contestar adecuadamente.*

*Un estudiante con buen desempeño podrá responder las preguntas sin problema.*

*Ya que son estudiantes egresados del área II, considero que cuentan con los conocimientos necesarios para responder de manera exitosa. Asimismo, considero que la evaluación corresponde a un programa de estudios del área II.*

*Se encuentra adecuado al programa de estudios de Química III y IV de CCH Sur.*

*El nivel de las preguntas es adecuado para el bachillerato, pero la redacción tanto de preguntas como de respuestas es muy rebuscada. Recordemos que los estudiantes sólo conocen el lenguaje de la química de secundaria. Para los estudiantes del IEMS es muy elevado.*

De acuerdo con los comentarios de la tercera herramienta de evaluación se menciona que los reactivos si son adecuados para los estudiantes que egresan del bachillerato, sólo se hace mención respecto a la energía de enlace, resaltando que ese tema no se asemeja al modelo de enlace y que tampoco se abarca en su totalidad en el programa de estudios. Sin embargo, una de las propuestas del modelo de progresión de aprendizaje es ver al enlace químico como parte del proceso de cambio químico.

Entre los comentarios y puntuaciones entre las tres herramientas se puede observar que la primera y segunda los comentarios y observaciones por parte de los profesores son mayores, donde se resalta que el lenguaje en los reactivos puede ser complejo para los

estudiantes y que no necesariamente los profesores lo conozcan, por ello la puntuación media en la escala likert se encontraba en el número tres, mientras que en la última herramienta de evaluación el puntaje medio está en el número cuatro donde los profesores están de acuerdo en que sus estudiantes puedan resolver esa evaluación, sólo se menciona que la parte de energía no es necesaria para el enlace químico.

Cabe destacar que las herramientas de evaluación se aplicaron sin que los docentes conocieran el modelo de progresión de aprendizaje que proponemos, por esto mismo muchos de los comentarios que los docentes expresaron, se deben al desconocimiento de que dichas evaluaciones están contextualizadas en la progresión y no en la manera en que se enseña el tema actualmente en el bachillerato, por ello tienen un enfoque diferente al que está planteado en los planes y programas de estudio y el desarrollo didáctico correspondiente de los libros de texto. Debido a esto sería importante si se comparte primero a los docentes de los diferentes subsistemas el modelo de progresión de aprendizaje y después se pueda resolver dichas evaluaciones. Esto se puede dejar para futuros trabajos de investigación en la didáctica de la química.

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

A partir de la propuesta del modelo de progresión de aprendizaje para el enlace químico, así como su evaluación con las herramientas diseñadas para tres momentos de enseñanza en el bachillerato, se han llegado a varias observaciones y reflexiones sobre este trabajo de investigación.

Como se menciona en marco teórico el modelo propuesto de progresión de aprendizaje para la enseñanza del enlace químico en el bachillerato, da pauta de cómo desarrollar el tema a lo largo del bachillerato para que la construcción del modelo sea significativa y, les presente la teoría y el enfoque didáctico rumbo a el aprendizaje de un nuevo lenguaje y una visión de esta *big idea*, que aleje a los estudiantes de las múltiples concepciones alternativas que se tienen en el tratamiento del tema y éste tenga mayor significancia para entender el mundo que les rodea.

Si bien el *enlace químico* se ha enseñado como parte de un capítulo o tema más donde se categorizan *tipos de enlaces*, y su enseñanza aprendizaje ha resultado compleja debido a la abstracción que se necesita por parte del estudiante, se han generado desafíos para lograr un panorama completo en torno a la big idea. Por ello con el modelo de progresión de aprendizaje propuesto en este trabajo se desarrollaron varias ideas centrales que se consideran fundamentales enfocar en la enseñanza aprendizaje.

La primera idea, que es pilar para las demás, es el hecho de que las partículas interactúan debido a la ley de cargas, donde se generan fuerzas de atracción y de repulsión, es decir, la interacción entre partículas es de naturaleza eléctrica. La segunda idea importante es el dejar explícito que, el tipo de enlace que se forma depende de las características de las partículas que interactúan, y no perder de vista que ese enlace se representa de manera simbólica con una línea entre las partículas en interacción. La tercera idea se enfoca en que el enlace químico formado entre las partículas determinará una estructura y, dependiendo de la interacción entre partículas es la estructura que se formará (multimolecular o de redes gigantes), y con esta idea se puede dejar de lado ideas erróneas sobre la representación de sustancias como el caso del cloruro de sodio, el cual forma una red gigante iónica y no una molécula, como generalmente lo conciben los estudiantes. Además, es importante tomar en cuenta que el lenguaje utilizado para los modelos representacionales de las estructuras es nuevo, puesto que no se menciona en los libros de texto y tampoco ha resultado común a los docentes, por lo que es necesario que primero el docente esté familiarizado con el nuevo lenguaje y después lo puedan transmitir a los estudiantes.

Otra idea de gran importancia es tener en cuenta que, cuando se forman sustancias en un proceso de cambio químico, está involucrada la energía de enlace, en este modelo de progresión de aprendizaje se sugiere la enseñanza del modelo desde el punto de vista

material y energético, de manera paralela, situación que no se da en el aula ni se propone en los Programas de estudio del bachillerato. En otras palabras, se puede enseñar el modelo de enlace químico, por un lado, como producto de una interacción, pero también como parte de un proceso de cambio químico.

Dichas ideas son las que se ven reflejadas a lo largo de la progresión para los tres momentos durante el bachillerato, y por tanto las tres herramientas de evaluación tienen reactivos que van dirigidos a las ideas propuestas en el modelo de progresión de aprendizaje. En las respuestas y comentarios de los trece docentes del bachillerato, se expresa sobre el lenguaje en los reactivos, y las estructuras de las sustancias, mencionando un nivel elevado con respecto a lo que se enseña en bachillerato y que ni tanto docentes como estudiantes están familiarizados con ese enfoque. Lo cual, es completamente acertado puesto que el modelo de progresión propuesto da un enfoque diferente al que se tiene en planes de estudio y libros de texto. También algunos docentes expresan cierta inconformidad sobre el colocar reactivos donde se involucra el cálculo de energía y el concepto de energía como parte de un proceso de cambio químico, sin embargo, esta idea se considera fundamental para entender el rompimiento de los enlaces de reactivos y la formación de los nuevos enlaces que dan lugar a los productos.

La visión limitada del enlace químico con la que se cuenta actualmente y que ha sido documentada en los artículos mencionados en el marco teórico, pueden ser contrarrestadas si se genera una visión completa sobre dicha *big idea*, por ello se considera de importancia que sea responsabilidad de los docentes subsanar las concepciones alternativas que se tienen en la actualidad. Por ello es importante tener los recursos que ofrece la investigación educativa, así como las ventajas que se ofrece en la didáctica de las ciencias.

Este trabajo de investigación deja propuesto el modelo de progresión de aprendizaje para el enlace químico en el bachillerato, sin embargo, para futuras investigaciones se puede ampliar su seguimiento para el egreso a la universidad en el área de química, así como también se pueden diseñar secuencias didácticas enfocadas en momentos distintos en bachillerato. Otra de las ventajas de tener este modelo de progresión está el que da una panorama general sobre una *big idea* fundamental en química que servirá como guía para los docentes, y así además de apoyarse con los planes de estudio y con libros de texto, se puede sostener la didáctica dentro de la práctica docente con base en el modelo de progresión de aprendizaje. Dicho lo anterior se considera que en este trabajo se ha propuesto un modelo de progresión de aprendizaje para el enlace químico donde se involucra un nuevo enfoque para la enseñanza aprendizaje y resaltar la importancia de esta *big idea*, puesto que los materiales y sustancias que nos rodean tienen una funcionalidad y ésta se debe a la relación interacción-estructura-propiedades; y justamente esa relación se ve durante el modelo de progresión de aprendizaje para el bachillerato.

## FUENTES DE CONSULTA

- Adúriz-Bravo, A. & Izquierdo, M., (2002), *Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma*, *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 1 (3), 01-11.
- Bello, S. (2004, Julio), *Ideas previas y cambio conceptual*, *Revista educación química*, 15 (3), 210-217.
- Caamaño, A. (2016, octubre). *Enlace químico y estructura: El reto de integrar los distintos niveles estructurales*. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 86, 8-18..
- Caamaño, A. (2015, julio). La estructura conceptual de la química: realidad, conceptos y representaciones simbólicas. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 78, 7-20.
- Chamizo, J. (2017), *Habilidades de pensamiento científico*, Universidad Nacional Autónoma de México: México, CDMX.
- Smith, C., Wiser, M., Anderson, C. & Krajcik, J., (2006) FOCUS ARTICLE: Implications of Research on Children's Learning for Standards and Assessment: A Proposed Learning Progression for Matter and the Atomic-Molecular Theory, *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 4:1-2, 1-98.
- Corcoran, T., Mosher, F. & Rogat, A., (2009). *Learning Progressions in Science: An evidence-based approach to reform*. Philadelphia, USA: Consortium for Policy Research Education Report
- Duncan, R. & Rivet, A., (2013), *Science Learning Progressions*, *Science*, 339 (6118), 396-397.
- Duschl, R., Maeng, S. & Sezen, A. (2011), *Learning progressions and teaching sequences: a review and analysis*, *Studies in Science Education*, 47:2, 123-182.
- De Jong, O., & Talanquer, V. (2015). Why is it Relevant to Learn the Big Ideas in Chemistry at school? In *Relevant Chemistry Education* (pp. 11-31). Sense Publishers, Rotterdam.
- Harlen, W. (2010). *Principios y grandes ideas de la educación en ciencias*. Association for Science Education College Lane, Hatfield, Herts. AL10 9A.
- Kind, V. (2004), *Más allá de las apariencias*, Editorial Santillana: México.
- Talanquer, V. (2015). Central ideas in chemistry: An alternative perspective. In *Journal of chemical education*, (pp. 3-8), Arizona, United States.
- Bello, S., & Herrera, A. (2009), *METL 2. Papeles del Seminario de Investigación Educativa*, UNAM: México.
- Garriz, A. & Talanquer, V. (2012, mayo). Las áreas emergentes de la educación química: Naturaleza química y progresiones de aprendizaje. *México: Educación Química*, 23(3), 328-330.

Sanmartí, N. (2002). Aprender ciencias, un proceso muy complejo. En *Didáctica de las ciencias en Educación Secundaria Obligatoria* (pp.105-117). España: Síntesis Educación.

Sosa, P. (2009), METL 2 Papeles de seminario de investigación educativa: *De las interacciones de las sustancias al tetraedro*, UNAM: México.

Nahum, T., Taber, K., Mamlok-Naham, R., & Hofstein, A.. (2013, aAbril 23). *Teaching and learning the concept of chemical bonding*. *Studies in Science Education*, 42, 179-207.

Taber, Keith. (2016, octubre). *Enlace químico y estructura atómico molecular en secundaria*. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 86, 19-27.

Taber, Keith. (2018), *Chemical misconceptions: preventions, diagnosis and cure: theoretical background*. RSC: EUA.

Teichert, M., & Stacy, A. (2002). *Promoting understanding of chemical bonding and spontaneity through student explanation and integration of ideas*. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 464–49

Talanquer, V., (2013), *Progresiones de aprendizaje: promesa y potencial*, *Educación Química*, 24(4), 362-364.

Talanquer, V. (2016). Big ideas in chemistry, *Journal of chemical education*, 93, 3-8.

NGSS en: <https://ngss.nsta.org/About.aspx>

Programas de estudio CCH en México en: <https://www.cch.unam.mx/programasestudio>