



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

MODELOS MENTALES EN LOS ALUMNOS SOBRE LA MODALIDAD
COVALENTE DEL ENLACE Y SUS REPERCUSIONES
ACADÉMICAS.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO

PRESENTA

ALFREDO CÉSAR HERRERA HERNÁNDEZ



México, D.F.

EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUÍMICA

2005

m350849



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.

autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo recepcional.
NOMBRE: Herrera Hernández
Alfredo César
FECHA: 11 de noviembre de 2005
FIRMA: [Firma]

Jurado asignado:

Presidente Prof. Silvia Bello Garcés:

Vocal Prof. Natalio Aníbal Bascuñán Blaset

Secretario Prof. Rosa María González Muradás

1er. Suplente Prof. Glinda Irazoque Palazuelos

2do. Suplente Prof. Luis Miguel Trejo Candelas

Sitio en donde se desarrolló el tema: Facultad de Química

Asesora
Q. Silvia Bello Garcés

[Firma]

Sustentante
Alfredo César Herrera Hernández

[Firma]

*Gracias Dios por la vida,
por estar ahí siempre,
y por el valor para alcanzar los sueños.*

*Por su inagotable apoyo y ánimo,
por cada momento a su lado,
por todas las formas
en que me demuestran su amor a manos llenas,
muchas gracias
Papá, Mamá, Ale y Dany.*

*A la maestra Silvia Bello Garcés,
por ser una tutora ilustre, una profesora excelente, una persona admirable,
por haber tenido el honor y el placer de trabajar junto a ella,
por haber confiado en mí, por ayudar a mi desenvolvimiento profesional,
por la magnífica labor que realiza en la Facultad de Química,
un muy especial agradecimiento.*

*A la Facultad de Química de la U. N. A. M.
por haber contribuido a mi formación profesional
Gracias.*

*Porque sin ustedes mi vida en la Facultad de Química hubiera sido gris,
Karina Castro, Israel Hernández, Ana Romero, Liliana Licea,
Marisela Ramírez, Fátima García, Beto Guevara, Anayetzin Torres,
Bety Ramírez, Charmina Aguirre, Carmen Gutiérrez, Jonathan Rodríguez
Marisela Ciprian, Blanca Badillo, Lalo Díaz,
Adriana Vega, Diana Méndez, Carmen Becerril
Gracias por ser mis compañeros y amigos.*

*Porque sin ustedes la investigación que se presenta en esta tesis
no hubiera sido posible,
Angélica Chicas, Hirokazu Hirata, Raúl Montesano,
Araceli Cruz, Alex Flores, Mabel Pallás, Rafael Sánchez,
Jván Cázares, Fernanda Quintero, Alfonso Gaitán,
Donaji Mayoral, Mónica Rosas, Víctor Ruiz,
Mariana Olmedo, Triisol Hernández, Arcelia Álvarez,
Iris Cureño, Oscar Rosales, Araceli Romero, Angélica Fuentes,
Miroslava Mendoza, Aramys Razo, Elizabeth Santiago,
Janin Guzmán, Alfredo Rojas, Gabriela García, Marisol Velasco,
Eduardo Aguayo, Jesús Ramos, Ricardo Esquivel
Gracias por dejarme explorar sus ideas.*

*El cambio ocurre
El Queso³ no cesa de moverse*

*Anticípate al cambio
Prepárate para cuando se mueva el Queso*

*Controla el cambio
Olfatea el Queso con frecuencia
para saber cuándo se vuelve rancio*

*Adáptate al cambio con rapidez
Cuanto más rápidamente te olvides del Queso Viejo,
Antes podrás disfrutar el Queso Nuevo*

*Cambia
Muévete con el Queso*

*Disfruta del cambio
Saborea la aventura y disfruta del sabor del Queso Nuevo*

*Prepárate para cambiar con rapidez
y para disfrutarlo una y otra vez
El Queso no cesa de moverse*

Spencer Jonson en
“¿Quién se ha llevado mi queso?”

³ El “Queso” representa cualquier cosa que deseemos alcanzar (la felicidad, el trabajo, el amor, el conocimiento, etcétera).

Modelos mentales en los alumnos sobre la modalidad covalente del enlace y sus repercusiones académicas.

Índice.

Capítulo 1. Introducción	1
Capítulo 2. Antecedentes	4
2.1 Ideas previas y modelos mentales	4
2.2 Modelos del cambio conceptual	5
2.3 ideas previas sobre el enlace químico y su modalidad covalente	11
Capítulo 3. El enlace químico	13
3.1 Breve reseña histórica del enlace químico	13
3.2 Importancia del enlace químico	20
3.3 Modalidades del enlace químico	21
3.4 La modalidad iónica del enlace	24
3.5 La modalidad metálica del enlace	25
3.6 La modalidad covalente del enlace	26
3.7 La polaridad de las moléculas	32
3.8 Fuerzas intermoleculares	34
Capítulo 4. Investigación desarrollada en la Facultad de Química ...	35
4.1 Marco teórico	35
4.2 Metodología	36
Capítulo 5. Resultados y su análisis	39
5.1 Resultados obtenidos en los tres instrumentos	39
5.2 Análisis de los resultados	58
Capítulo 6. Posibles modelos mentales en los alumnos relacionados con el tema	65
6.1 Modelos mentales	65
6.2 Discusión de la propuesta	68
Capítulo 7. Recomendaciones académicas vinculadas con las repercusiones en el aprendizaje	74
7.1 Dirigidas a profesores	75
7.2 Dirigidas a estudiantes	80
Capítulo 8. Conclusiones	82
Referencias	84
Apéndice	88

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Al nacer, los seres humanos sólo disponemos de unas cuantas conductas muy simples y es durante el periodo comprendido entre la infancia y la adolescencia cuando cada sujeto va construyendo, dentro de un medio social determinado, las estructuras de su propia inteligencia y el conjunto de sus conocimientos.

Las generaciones adultas ayudan a esa construcción por influencia familiar, cultural, social y escolar a los jóvenes, llevando a cabo con ello el proceso denominado educación. El proceso educativo se realiza en múltiples formas y lugares: en la familia, en la calle, en la escuela. A través del contacto con otros individuos y con el mundo que nos rodea, nos vamos impregnando de la influencia social.

Sin embargo, un aspecto de suma importancia recae en la pregunta ¿cómo se adquieren los conocimientos en la escuela?.

Los procedimientos mediante los cuales se lleva a cabo la adquisición de conocimientos son muy complejos y, en parte, mal conocidos.

Hay que señalar el hecho, de que el tipo de enseñanza que se proporciona, desde la educación preescolar hasta la educación superior, sigue la gran mayoría de las veces el modelo tradicional, en donde el proceso de enseñanza – aprendizaje es meramente pasivo y la adquisición de contenidos escolares es temporal, dejando un mensaje permanente en los alumnos: existen cosas que deben saberse, que son la verdad, y hay una autoridad, representada allí por el profesor, que es quien controla el saber y es quien tiene siempre la razón.

El esfuerzo que se le exige al alumno desde este modelo, es un esfuerzo de memorización de algo ya dado, además de que se le presenta todo el saber como un producto inmutable y estático que sólo puede reproducir.

El tipo de evaluación que se utiliza es también fundamentalmente repetitivo, exámenes en los que se debe reproducir lo mismo que ha dicho el profesor o dice el libro, frecuentemente sin entender nada.

En principio parecería que una de las misiones de la escuela sería promover el desarrollo intelectual de los alumnos, sin embargo, al tomar una actitud ante la docencia siguiendo este modelo tradicional, el objetivo original se pierde.

La enseñanza de las ciencias bajo este modelo tradicional, se preocupa por los contenidos de forma que subyace una visión equivocada del proceso de enseñanza, dando por hecho que enseñar constituye una tarea sencilla que no requiere especial preparación.

Esta concepción ha pesado sobre la propia formación inicial que se exigía a los profesores de ciencias, de forma que las demandas se reducían al propio conocimiento de las disciplinas y contenidos a impartir, y muy poco o nada a las cuestiones didácticas o del cómo enseñar. Una buena parte de esta visión permanece aún vigente en la práctica.

Guiado por las aportaciones pedagógicas de Jean Piaget, surge como alternativa a la enseñanza tradicional el denominado aprendizaje por descubrimiento, en donde es el alumno quien aprende por sí mismo si se le facilitan las herramientas y los procedimientos necesarios para hacerlo. Esta aportación gira en torno a la idea de que "enseñar prematuramente a un alumno algo que él pudiera descubrir por sí sólo, supone impedirle entenderlo completamente". (Campanario 1999).

Sin embargo, la enseñanza por descubrimiento, tal vez como reacción frente a la rigidez de la enseñanza memorística anterior, se olvida de la importancia de los contenidos concretos e, incluso soslaya de ellos, centrando todo su interés en las estrategias de adquisición del pensamiento formal y en los métodos.

Tomando en cuenta que el proceso de enseñanza – aprendizaje es esencialmente activo y que el alumno tiene que reconstruir en cada momento lo que se le transmite de acuerdo con sus propios mecanismos intelectuales, surge en la década de los 80 el denominado constructivismo, personalizado en la obra y las aportaciones de David P. Ausubel.

El constructivismo es una teoría basada en el proceso de resolver una situación de conflicto cognitivo en la que el alumno aprende significativamente a partir de sus conocimientos previos, dándole sentido o significado a los nuevos conocimientos.

Esta teoría, destaca la aplicación de la idea de cambio conceptual en ciencias y la importancia de las concepciones alternativas que influyen en el aprendizaje de los conceptos científicos.

Las concepciones alternativas o ideas previas están contenidas en los llamados modelos mentales que son representaciones análogas estructurales del mundo.

En lo que respecta a las aplicaciones e implicaciones para la educación, no parece necesario justificar su importancia en la labor educativa ya que lo que todo docente pretende es que se modifiquen las ideas con las que los alumnos llegan a la escuela, normalmente de carácter cotidiano y superficial, y que éstas sean sustituidas por otras más académicas y elaboradas.

Los diferentes modelos propuestos para el cambio conceptual, coinciden todos ellos en señalar que es preciso que el profesor conozca primero las ideas de los alumnos, que estos mismos tomen conciencia de ellas, para poder producir en última instancia un aprendizaje significativo y correcto.

Y es precisamente uno de los objetivos de este trabajo de tesis dar a conocer, tanto a los profesores como a los alumnos, y en general a cualquier persona que se interese en el tema, algunos de los modelos mentales que los estudiantes poseen sobre el enlace químico, así como de la modalidad covalente, dado que estos temas lejos de resultar agradables, interesantes y considerarlos como una valiosa herramienta para todo profesionalista especializado en el estudio de la materia, resultan en ocasiones, problemáticos y de difícil comprensión.

Así, son objetivos de este trabajo de tesis los siguientes:

- I. Investigar, hacer explícitos y mostrar algunos de los modelos mentales sobre el enlace químico y la modalidad covalente en estudiantes de la Facultad de Química.
- II. Proponer recomendaciones didácticas para la adecuada enseñanza tanto del tema en cuestión, así como de otros contenidos.

Para lograr los objetivos anteriores, se emplean instrumentos reportados como útiles en otros trabajos acerca del estudio de las concepciones de los sujetos (Novak y Gowin 1998, Gutiérrez y Ogborn 1992, Vosniadou 1994, Harrison y Treagust 1996) y atendiendo aspectos como el considerar que las concepciones alternativas constituyen modelos subyacentes a la acción, implícitas, que es necesario sacar a la luz y abordarlas explícitamente en clase.

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

2.1 Ideas previas y modelos mentales.

Las ideas previas han recibido diferentes nombres (ver tabla I) que surgen de la combinación, por un lado, de algunos términos básicos como *ideas*, *concepciones*, *ciencia ...* y, por otro lado, de una serie de adjetivos calificativos como *personales*, *alternativas*, *erróneas*, *etcétera*. La toma de un nombre u otro implica una toma de postura desde el punto de vista teórico e ideológico. Los distintos nombres son útiles para poder incidir más en algunos de los aspectos que caracterizan a las concepciones.

Tabla I. Diferentes denominaciones de las concepciones de los sujetos y el énfasis en unos u otros rasgos característicos.

Denominación	Característica
Concepciones caseras; Conocimiento informal	El contexto de formación
Creencias ingenuas; Teorías intuitivas; Ciencia de los niños; Marcos o concepciones alternativas	La diferencia con las concepciones científicas
Concepciones erróneas	El carácter frecuentemente erróneo en relación con las concepciones científicas
Preconcepciones o conocimiento previo	La existencia previa al aprendizaje formal

Las ideas previas son construcciones que los sujetos elaboran para interpretar fenómenos naturales o conceptos científicos, y que utilizan para proporcionar explicaciones, descripciones o predicciones. Son construcciones personales, pero a la vez son universales y muy resistentes al cambio.

Las ideas previas no se encuentran aisladas, sino que implican la formación de una red conceptual, esquema de pensamiento o modelo mental.

Los modelos mentales son como bloques de construcción cognitivo que pueden ser combinados y recombinados conforme sea necesario, éstos modelos representan al objeto o situación en si. Una de sus características más importantes es que su estructura capta la esencia de esa situación u objeto, de acuerdo a las estructuras mentales del sujeto.

Un modelo mental está compuesto por elementos y relaciones que representan un estado de cosas específico. Sin embargo, no existe un único modelo mental para un determinado estado de cosas en la mente de cada persona, al contrario pueden existir varios, aunque sólo uno de ellos represente de

manera óptima ese estado de cosas, que es el que aflora cuando se requiere su presencia.

Los estados de las cosas muchas veces se describen por conceptos. El modelo mental de un concepto debe ser capaz de representar tanto lo esencial, como la amplitud de ese concepto. El núcleo del modelo debe representar lo esencial del concepto, o sea, las propiedades y características del estado de las cosas que describe.

Los modelos mentales pueden ser deficientes en varios aspectos. Por ejemplo, pueden incluir elementos innecesarios, erróneos o contradictorios y más aún, pueden existir en gran medida modelos confusos, desordenados, incompletos e inestables.

Si las personas encuentran información que contradiga sus modelos mentales, es difícil para ellas aceptarla, porque les parece errónea. En estas condiciones actúan de diversas formas: la ignoran, la rechazan, no creen en ella, la reinterpretan siguiendo sus propios esquemas representacionales, o bien, llegan a aceptarla cambiando una pequeña parte de sus concepciones.

Por ello, es de suma importancia conocer los esquemas representacionales de los estudiantes, además de que es necesario transformarlos en conceptos más cercanos a las concepciones científicas, a esta transformación se le ha denominado cambio conceptual.

2.2 Modelos del cambio conceptual.

El cambio conceptual es el fenómeno de mayor trascendencia en el proceso de adquisición del conocimiento, y fue sólo a partir de los años ochenta cuando se dedicó una atención prioritaria al tema.

No es de extrañar que alrededor de este tema se hayan construido diversas posiciones, que abarcan desde modelos radicales, que proponen la sustitución total de las ideas previas por los conceptos científicos, hasta modelos que aceptan la modificación gradual y parcial de las ideas de los alumnos, llegando a considerar la coexistencia dual o múltiple de concepciones en el estudiante, cuyo empleo estará determinado por el contexto social y fuertemente determinado por aspectos afectivos. (Bello 2004).

La revisión que a continuación se presenta, ofrece algunas de las principales aportaciones que pueden ayudar a comprender la situación actual del cambio conceptual. Esas aportaciones abarcan desde los trabajos pioneros, hasta los diversos enfoques, que abordan al cambio conceptual desde perspectivas e interpretaciones innovadoras.

Cabe mencionar que los modelos del cambio conceptual parten de las explicaciones construidas por los sujetos para entender y actuar en su entorno.

Dichos modelos no podrían comprenderse al margen de lo que se sabe sobre el conocimiento previo o las concepciones alternativas de los sujetos.

En la mayoría de los trabajos citados se reconoce que, en la época reciente, el trabajo pionero de Posner, Strike, Hewson y Gertzog (1982) y posteriormente, con mayor precisión y claridad los desarrollos subsecuentes de Strike y Posner (1985) ofrecen uno de los primeros modelos que más repercusión ha tenido.

Strike y Posner (1985), desarrollan cuatro condiciones que deben darse para el cambio conceptual:

- a) *Insatisfacción con las concepciones existentes (a la luz de las nuevas concepciones).*
- b) *Una nueva concepción debe ser inteligible para el sujeto.*
- c) *La nueva concepción tiene que ser inicialmente plausible.*
- d) *La nueva concepción debe ser fructífera (ofreciendo posibilidades de aplicación).*

Otro factor que, según estos autores, debe tomarse en cuenta para analizar el cambio conceptual es la llamada ecología conceptual, que no es otra cosa más que la estructura conceptual interrelacionada donde están en juego el conocimiento previo, los compromisos epistemológicos, las ideologías, las creencias, etcétera.

Estos autores, inspirados por Piaget, consideran que existen dos formas de cambio: la asimilación y la acomodación. La asimilación implica los tipos de aprendizaje en donde no se requiere una revisión conceptual mayor, mientras que la acomodación, es un proceso gradual que implica una reestructuración para obtener la nueva concepción, mediante un entendimiento y una aceptación.

La dirección de una acomodación está determinada por anomalías frente a las expectativas del individuo, sus experiencias previas, sus compromisos epistemológicos y creencias metafísicas, y el conocimiento que tenga en otras áreas del conocimiento.

El periodo de acomodación es un proceso de avances y retrocesos frecuentes, así como periodos de indecisión.

El modelo de Carey (1992) toma como marco la ecología conceptual y contempla la posibilidad de dos clases de cambio en el proceso de adquisición de conocimiento: uno es el que inicialmente llamó *reestructuración débil* y consiste en la aparición de nuevos conceptos o relaciones entre los conceptos existentes, pero no hay cambio en los modelos centrales.

El segundo tipo de cambio es el que llamó *reestructuración fuerte*, radical o cambio conceptual, que tiene lugar cuando surgen nuevos conceptos o cuando

nuevas relaciones generan una transformación en los conceptos centrales, originando un cambio teórico.

Chi (2003) plantea un modelo diferente, basado en categorías ontológicas¹. Esta autora describe el paso de novato a experto, a partir de la incorporación de nueva información a la estructura de conocimiento ontológico del sujeto y de la reorganización de la estructura de conocimiento existente. Propone que las entidades del mundo pueden organizarse a lo largo de tres categorías ontológicas o árboles ontológicos distintos: "materia", "procesos" y "estados mentales". Estas categorías poseen atributos ontológicos, es decir, poseen rasgos esenciales que les son propios y sirven para discriminar una categoría de otra.

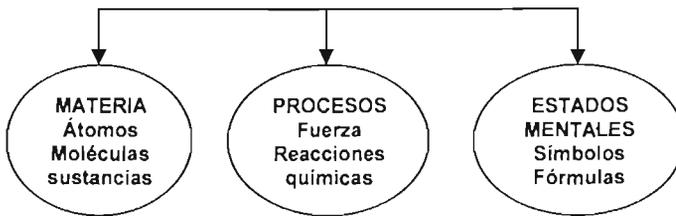


Figura 1. Las tres categorías ontológicas de Chi.

El análisis y diferenciación de las categorías ontológicas efectuado por Chi, subyace en la noción de cambio conceptual que propone. Distingue dos tipos de cambio conceptual que son alcanzados por distintos procesos. Por un lado, define al *cambio conceptual de menor grado* o cambio conceptual no radical como aquel en donde hay modificaciones en los conceptos o categorías dentro de un mismo árbol ontológico y, por tanto, no cambia el significado básico de los conceptos.

El otro tipo de cambio lo constituye el *cambio conceptual radical* y tiene lugar cuando un concepto que era asignado a un árbol ontológico determinado pasa a ser asignado a otro árbol ontológicamente distinto.

Chi plantea tres procesos como base para pasar de una categoría a otra:

1. Reemplazo: un concepto inicial es sustituido por uno alternativo, fundamentalmente diferente.
2. Diferenciación: otro proceso de reemplazo, divide el concepto en dos o más nuevos conceptos, inconmensurables con el inicial o entre sí, y
3. Coalescencia: dos o más conceptos son integrados dando un concepto nuevo, reemplazando al original.

¹ Lo ontológico se refiere a la ontología, la cual es un estudio filosófico del ser en cuanto tal.

Desde sus supuestos, este modelo del cambio conceptual se explica por la existencia de concepciones alternativas en los sujetos, a partir de errores en la categorización ontológica.

En la perspectiva de Vosniadou (1994), la existencia de ciertas restricciones innatas también debe ser considerada.

La influencia innatista se pone de manifiesto cuando se habla de la teoría marco ingenua, en torno a la cual se organiza un conjunto de presupuestos ontológicos, específicos de un dominio y no conscientes para el sujeto.

El modelo establece la creación, por parte del sujeto, de una teoría específica. Las teorías específicas consisten en un conjunto de proposiciones interrelacionadas o creencias que describen las propiedades y comportamiento de objetos físicos. Estas teorías son generadas a través de la observación o a través de la información cultural. El conjunto de estas teorías específicas constituye una teoría marco.

Vosniadou señala dos tipos de cambio. El primero de ellos conocido como *enriquecimiento*, supone la incorporación de nueva información a la estructura de conocimiento existente a través de un mecanismo de aumento.

El segundo tipo considerado como la forma más radical de cambio y llamado *revisión*, implica que la nueva información entre en contradicción o sea inconsistente con los presupuestos y / o creencias, es decir con la teoría marco ingenua o con la teoría específica y, por tanto, éstas deben modificarse.

Los modelos hasta ahora expuestos, conciben al cambio conceptual como un proceso que se da en el individuo, equivalente a lo que ha ocurrido en la comunidad científica a lo largo de la historia de la ciencia.

Caravita y Halldén (1994) desarrollan un modelo de cambio conceptual, desde el cual, el proceso de adquisición de conocimiento no es visto como un reemplazamiento de unas concepciones por otras a través de un mecanismo de conflicto, sino como un proceso de extensión de las concepciones a distintos contextos, a través de un mecanismo de descentración.

La importancia concedida al contexto hace que las concepciones alternativas no sean vistas como un conocimiento genérico incorrecto, sino como producto de los inconvenientes que tiene el sujeto para aplicar adecuadamente las concepciones a los distintos contextos.

El cambio conceptual es considerado como algo más que un mero cambio en las estructuras de conocimiento declarativo e independiente del contexto, sino como un cambio en la capacidad de adecuación en la aplicación de las concepciones.

En el modelo de diSessa y Sherin (1998), apegados a que el cambio conceptual implica un cambio en los conceptos, se plantea una pregunta clave "¿qué es un concepto?", y hacen notar que nadie sabe con exactitud lo que es un concepto, sin embargo, los conceptos son fuente de extraordinarias dificultades en el aprendizaje.

Su modelo, además de sustituir los conceptos por "coordinación de clases", describe la transición del conocimiento del novato al conocimiento del experto. Desde el conocimiento del novato se proporcionan explicaciones intuitivas a los fenómenos del mundo físico. Este conocimiento está organizado en pequeñas unidades de información llamadas "primitivos fenomenológicos o p-prims²". Estos p-prims son unidades mínimas de conocimiento que se caracterizan por ser auto explicables.

A partir de la naturaleza y el funcionamiento de los p-prims, explican el proceso del cambio en la estructura de conocimiento de novato a experto.

De la revisión antes descrita, Rodríguez – Moneo (2003) propone clasificar a los modelos del cambio conceptual siguiendo una categorización térmica. De esta forma se distinguen tres grandes grupos: modelos fríos, modelos situados y modelos calientes.

Los modelos fríos del cambio conceptual se basan fundamentalmente en el cambio de las estructuras de conocimiento declarativo³ y, en este sentido el cambio del conocimiento se considera más estático, puesto que atiende únicamente a cuestiones puramente cognitivas y racionales.

Los modelos situados han criticado a los modelos fríos por la excesiva atención prestada a la estructura de conocimiento declarativo y la escasa atención concedida al uso del conocimiento. Otra crítica de estos modelos a los modelos anteriores, está relacionada con la sobrevaloración de la racionalidad del sujeto. A partir de estas críticas, los modelos situados ofrecen una visión del proceso de cambio que puede considerarse complementaria a la propuesta en los modelos fríos.

Finalmente, los modelos calientes del cambio conceptual son producto de la vinculación entre la cognición y la motivación. Desde los modelos fríos se consideran sólo los factores lógicos y racionales del cambio. Los modelos calientes no descuidan la importancia de estos factores, pero añaden a ellos la relevancia de los factores motivacionales en el proceso de cambio conceptual.

En la siguiente tabla se ilustra la clasificación propuesta por Rodríguez – Moneo.

² Los primitivos fenomenológicos son conceptualizaciones unitarias que dan cuenta de las representaciones directas que los sujetos elaboran o identifican de su interacción con su fenomenología inmediata.

³ El conocimiento declarativo es aquel conocimiento descriptivo de la realidad que se puede decir o declarar.

Tabla II. Clasificación de los modelos de cambio conceptual propuesta por Rodríguez - Moneo.

Autor	Tipo de Modelo	Cambio conceptual	Tipo de cambio	Conocimiento inicial
<i>Strike y Posner</i>	Frio	Cambio en las concepciones	<ul style="list-style-type: none"> - Acomodación - Asimilación 	Conocimiento aditivo, fruto de la experiencia
<i>Chi</i>	Frio	Reparación de concepciones alternativas. Reparación de ideas previas reasignando categorización	<ul style="list-style-type: none"> - Reorganización conceptual - Cambio conceptual 	Categorías ontológicas organizadas
<i>Vosniadou</i>	Frio	Modificaciones graduales del modelo mental (cambio teórico específico)	<ul style="list-style-type: none"> - Enriquecimiento - Revisión 	<ul style="list-style-type: none"> - Marco teórico ingenuo - Teorías específicas
<i>diSessa</i>	Situado	Cambio en las redes causales	Dependiente de p-primis	Primitivos fenomenológicos
<i>Carey</i>	Frio	Cambio en las relaciones entre conceptos	<ul style="list-style-type: none"> - Débil - Fuerte 	Teorías específicas de un dominio determinado
<i>Caravita</i>	Situado	Construcción sucesiva de esquemas más potentes	<ul style="list-style-type: none"> - Paradigmático - No paradigmático 	Marcos de referencia

La investigación sobre el cambio conceptual no está acabada, hoy en día todos los autores coinciden en que el cambio conceptual implica un proceso ligado fuertemente a cuestiones emocionales y afectivas.

Este trabajo de tesis no pretende cambiar los dogmas que han prevalecido por mucho tiempo en la educación, ni tampoco intenta ser la piedra angular para forjar un nuevo panorama educativo. Su importancia radica en dar a conocer que en materia educativa, la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, contribuye a mejorar la educación superior, siendo esta tesis un claro ejemplo de ello.

2.3 Ideas previas sobre el enlace químico y su modalidad covalente.

De los trabajos de investigación desarrollados previamente (Duit y Pfund, 1998; Flores *et al.*, 2002; Taber 2001, Kind 2004), a continuación se presenta una recopilación de las principales ideas previas asociadas tanto a generalidades del enlace químico (Tabla III) como a la modalidad covalente del mismo (Tabla IV).

Tabla III. Ideas previas relacionadas con el enlace químico

Idea Previa
Los enlaces químicos son fuerzas de atracción que mantienen unidos a unos átomos con otros, para formar moléculas.
Los enlaces químicos se producen al compartirse electrones entre átomos.
Existen diferentes tipos de enlaces o uniones, mas en todos los casos se presenta una transferencia o intercambio de electrones.
Cuanto menor peso atómico presenten los elementos, mayor fortaleza tendrán los compuestos que forman, ejemplo: carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno tienen un peso atómico bajo y al ser ligeros, los enlaces que constituyen quedan muy fuertes.
Valencia es la capacidad que tienen los elementos de combinarse con otros.
Las valencias representan al número de electrones de la capa externa de un átomo, que puede ceder, aceptar o compartir durante la formación de enlaces químicos.
Una molécula está constituida por dos o más átomos unidos entre sí por enlaces químicos.
El enlace químico es una entidad física, es materia.
La unión entre átomos se debe a las diferentes cargas situadas en los átomos.
Los átomos se unen porque tienen un campo de atracción sobre otros átomos.
Un enlace necesariamente implica un par de electrones (o más de un par en algunos casos) entre dos átomos.
La creación de enlaces requiere energía y el rompimiento de enlaces libera energía.
La unión de los átomos se debe al estado de agregación.

Tabla IV. Ideas previas relacionadas con la modalidad covalente del enlace químico.

Idea Previa
Los electrones participan en la formación de las uniones entre los átomos, llamadas enlaces covalentes.
El carbono es el único elemento que puede formar enlaces covalentes al compartir sus electrones.
El azufre, igual que cualquier otro átomo, forma enlaces covalentes o iónicos, dependiendo del contexto químico en que se encuentre.
Covalente es el tipo de enlace en el que dos elementos comparten un par de electrones en la formación de una molécula de un compuesto.
En el enlace covalente los átomos comparten electrones para obtener capas de electrones llenas.
En la materia viva los átomos se unen por enlaces covalentes.
Los enlaces covalentes se rompen cuando una sustancia cambia de estado.
Para que un elemento logre su estabilidad química, tiene tendencia a completar 8 electrones en su última órbita, capa o nivel.
Los enlaces iónicos y los enlaces metálicos, no son realmente enlaces, como los enlaces covalentes.
Las moléculas de un gas se unen mediante enlace covalente.
La estructura tetraédrica de una molécula es una condición necesaria y suficiente para predecir la polaridad de la molécula, independientemente del tipo de átomos que se encuentren unidos al átomo central.
Si la geometría de una molécula es lineal y por lo tanto, simétrica, el momento dipolar es cero.
Si una molécula tiene pares de electrones no enlazantes, entonces es polar. Si no tiene pares libres, entonces es no polar.
La polaridad de la molécula depende solamente de la diferencia de electronegatividad entre los átomos que forman cada enlace en la molécula.
Una molécula es polar porque tiene enlaces polares.
Las moléculas no simétricas con enlaces polares son polares.
El átomo más grande es el que ejerce el mayor control sobre el par de electrones compartidos.
Los pares de electrones no enlazantes, influyen en la posición de los pares compartidos y determinan la polaridad del enlace.
En un enlace covalente, los electrones se encuentran más cerca del elemento más electronegativo.
La forma de una molécula es resultado de la repulsión de todos los pares de electrones (libres y enlazantes).
Una propiedad muy importante de los elementos biogénicos es que forman enlaces covalentes estables.
Las moléculas que forman a los seres vivos contienen una gran cantidad de átomos de carbono unidos por enlaces covalentes.
El número de enlaces covalentes varía según el número de electrones que el elemento tenga en su último orbital.

CAPÍTULO 3. EL ENLACE QUÍMICO

3.1 Breve reseña histórica del enlace químico.

De acuerdo a William B. Jensen (1998), la historia de la Química se puede llegar a relacionar con su enseñanza desde tres aproximaciones:

- a) La primera se centra en el empleo de bosquejos biográficos y anécdotas como una forma de “humanizar” a la Química.
- b) La segunda tiende a emplear la historia de la Química para estudiar el método científico y / o su impacto en la ciencia y la tecnología.
- c) Una tercera aproximación radica en que el estudio de la historia de la Química provee un planteamiento para la organización de los modelos y conceptos.

Enfocado en la tercera aproximación, Jensen plantea un esquema de la estructura lógica de la Química, sugiriendo una organización de los modelos y conceptos, basada en su evolución histórica. Desde esta perspectiva, los conceptos y modelos de la Química son clasificados en tres clases o dimensiones: composición / estructura, energía y tiempo. Cada una de estas dimensiones puede ser captada desde tres niveles conceptuales: el molar, el molecular y el eléctrico; cada uno de los cuales corresponde históricamente a una revolución científica.

Previo a describir las tres revoluciones químicas y los conocimientos que contribuyeron al enlace químico, resulta interesante enterarse del conocimiento que se había gestado en épocas anteriores, recuento que se da en los siguientes párrafos.

En la época antigua (siglos 6 – 4 AC), surge el concepto de enlace químico al mismo tiempo que la noción del átomo. A partir del momento en que se admitió la existencia de partículas elementales, fue necesario imaginar una fuerza capaz de unir las, que asegurara la cohesión de la materia.

Se acostumbra considerar a Demócrito como el primero en enunciar la idea de átomo, aunque la historia menciona también a su maestro Leucipo de Mileto y al filósofo de la India antigua Kanáda. Sin embargo, fue Demócrito el que concibió que los átomos poseían ganchos que podían unirse unos con otros.

El opositor más influyente contra el atomismo no fue otro que Aristóteles, cuyas teorías no aceptaban la existencia del vacío. Aristóteles relacionó la teoría de los *Cuatro Elementos*, popularizada por Empédocles de Agriento, con su teoría de las cuatro cualidades elementales: cálido y frío, seco y húmedo, según la cual las cualidades elementales pueden combinarse en parejas, excluyendo a los

contrarios por naturaleza. Entonces las cuatro parejas posibles son: cálido – seco, cálido – húmedo, frío – húmedo y frío – seco. Estas cuatro parejas se pueden relacionar con los *estados elementales*: el fuego es cálido y seco, el aire es cálido y húmedo, el agua es fría y húmeda y la tierra es fría y seca.

Sin embargo, tal como sucedió con otras creencias y prácticas heterodoxas, la antigua *khemeia* griega fue considerada un rito pagano que la iglesia católica intentó suprimir sin éxito. Sobrevivió y se expandió gracias a que los árabes extendieron y consolidaron su imperio. Con ellos se continuó desarrollando la *khemeia*, la que pasó a ser conocida como Alquimia.

En la edad de la Alquimia (350 – 1525) a la par de que los alquimistas trataban de encontrar la “piedra filosofal y el elixir de la vida”, se propuso que los átomos poseían sentimientos de afinidad, y eran estos sentimientos los que producían la unión o el rechazo entre ellos.

Primera Revolución Química. Nivel Molar (1770 – 1790).

Es en este periodo cuando se inicia el nivel molar y se remonta a la época de Lavoisier y su trabajo sobre el papel de los gases en las reacciones químicas; el verdadero significado de su investigación está en las implicaciones que tiene el concepto de composición química.

Otros factores que contribuyeron a esta primera revolución fueron las nuevas teorías sobre la combustión y la respiración propuestas por Mayow; el desarrollo de la química neumática por Hales, Cavendish, Scheele y Priestley; la contribución en una reforma de la nomenclatura y clasificación realizada por químicos como Macquer, Bergman y Guyton; el desarrollo de la teoría del estado calórico por Black, Crawford y Lavoisier; la famosa teoría del flogisto propuesta por Becker y Stahl y la controversia planteada por Lavoisier con su teoría de la oxidación.

Segunda Revolución Química. Nivel Molecular (1855 – 1875).

Con esta revolución se inicia el nivel molecular. Las contribuciones hechas por los químicos de esta época van a generar conceptos como el de valencia y estructura molecular, para posteriormente resolver el problema de determinar pesos atómicos y moleculares.

Esta revolución abraza los años de 1852, cuando Edward Frankland reconoce el concepto de valencia, y 1874, cuando Jacobus van't Hoff postula el átomo tetraédrico de carbono.

Un factor importante que contribuyó a la segunda revolución química, fue planteada por John Dalton en 1808, al formular la teoría atómica.

De la teoría atómica de Dalton se desprenden los siguientes puntos principales: Todas las sustancias están compuestas de partículas infinitesimales, indivisibles, llamadas átomos, y hay tantas clases de átomos como clases de elementos; los átomos de los diferentes elementos difieren, sobre todo en peso, pero todos los átomos del mismo elemento son exactamente iguales; los átomos se reagrupan, pero sin cambiar y los átomos no pueden crearse ni destruirse.

Y, sin embargo, fue el mismo Dalton quien descalificó las proposiciones hechas por el químico sueco Jöns Jakob Berzelius quien buscaba la comunicación internacional entre científicos de la época, uniformando los símbolos de los elementos, cuya identificación era confusa a causa de la herencia de los siglos anteriores, de forma que hasta nuestros días la simbología propuesta por Berzelius ha trascendido.

En esos mismos tiempos, Berzelius, por medio de la electrólisis, demostró la conductividad de ciertos compuestos al disolverse en agua, reemplazó la noción de afinidad por la de atracción electrostática entre los polos eléctricos que poseían los átomos. Este fue el inicio del enlace iónico.

Por otra parte, en 1834, Jean-Baptiste André Dumas al trabajar con compuestos no electrolizables, propuso otro modelo de enlace: el enlace covalente. Dumas representó el enlace mediante trazos entre los átomos, aportando la idea que cada átomo no se puede unir más que con un número limitado de enlaces, a los que llamó valencia.

De manera independiente, Friedrich August Kekulé en Alemania, y el químico escocés Archibald Scott Couper, en Francia, sugieren que el átomo de carbono es tetravalente, es decir, que posee cuatro grados de afinidad que le permitirían unirse con otro, siempre que ambos satisfagan sus valencias con otros átomos, por lo que dejan abierta la posibilidad de construir estructuras con átomos de carbono como cadenas lineales o ramificadas.

Cabe mencionar que a principios del siglo XIX, la precisión de la química había mejorado tanto que se podía demostrar que los compuestos simples contenían cantidades fijas e invariables de los elementos que constituían, haciendo más sencillo discernir entre una mezcla y un compuesto, gracias a los trabajos entre otros de Proust, Dalton y Richter, cuyos trabajos establecieron las leyes ponderales, y Gay – Lussac en sus leyes volumétricas para los gases.

Uno de los productos más importantes de esta revolución, fue el planteamiento de la ley periódica enunciada como consecuencia de la labor independiente de dos hombres: el ruso Dimitri Ivánovich Mendeléiev y el alemán Julius Lothar Meyer.

Tercera Revolución Química. Nivel eléctrico. (1904 – 1924⁴).

Este periodo comprende desde 1904 cuando Richard Abegg sugirió una relación entre la tabla periódica y los electrones de valencia, dando inicio al nivel eléctrico, hasta 1923 cuando Gilbert Newton Lewis publicó su trabajo "*Valence and the Structure of Atoms and Molecules*".

Una década antes de que saliera a la luz el trabajo de Lewis, Henry Gwyn Jeffreys Moseley, proporcionó una base experimental para equiparar la carga nuclear con lo que él llamó *número atómico*, indicando la posición de un elemento determinado en el sistema periódico.

El primer paso importante para la comprensión del enlace químico fue dado a comienzos del siglo XX, tras el descubrimiento del electrón por el físico inglés Joseph John Thomson. Sólo entonces fue posible entender que el enlace no dependía de los átomos, sino de los electrones, que según Thomson se encontraban como "pasas negativas" incrustadas en un pudín de materia positiva.

Años después, el mismo Thomson, después de proponer su modelo atómico, sugiere que el enlace químico tiene lugar cuando las esferas correspondientes a dos átomos se interpenetran, situándose los electrones simétricamente en la región común.

Discípulo de Thomson, Niels Henrik David Bohr elaboró un modelo atómico que permitía tener una visión clara de los fenómenos electrónicos puestos en juego en el transcurso de la formación de un enlace. Según su modelo, los electrones giran alrededor de un núcleo, colocándose en órbitas sucesivas, las cuales pueden tener un número limitado de electrones.

Para 1908 Sir William Ramsay, descubridor de los gases nobles, apoya la idea de que los electrones sirven como "lazo de unión" entre átomo y átomo.

Johannes Stark consideró que los electrones de valencia atraían simultáneamente las partes positivas de dos diferentes átomos, considerando a aquellos electrones situados entre dos átomos como el equivalente al enlace químico.

⁴ Fechas propuestas por Jensen.

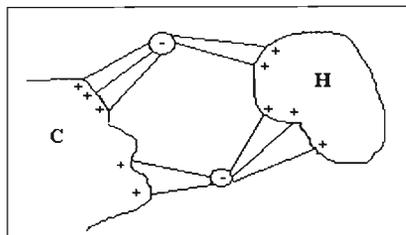


Figura II. Modelo de Stark del enlace carbono – hidrógeno. Tanto el electrón correspondiente al carbono, como el del hidrógeno, envían líneas de fuerza a ambos núcleos, sirviendo como agentes enlazantes.
(Cruz, Chamizo y Garritz, 1987)

En 1913, Niels Bohr propuso la estructura electrónica para sistemas moleculares. En todos los casos, el enlace químico estaba representado por un anillo de electrones que se movía en un plano perpendicular al eje internuclear.

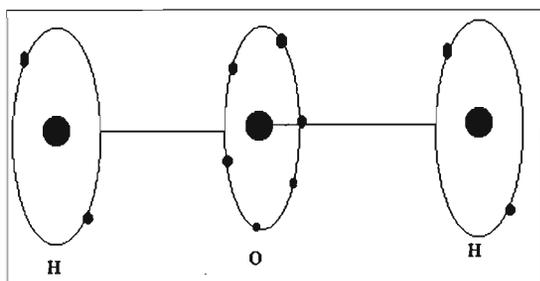


Figura III. Modelo de Bohr para representar el enlace existente en el agua.
(Cruz, Chamizo y Garritz, 1987)

Estas teorías y modelos aportaron información muy valiosa para poder comprender mejor el enlace químico, sin embargo, el paso decisivo llegó poco tiempo después.

En 1926 sale a la luz la teoría conocida como *mecánica cuántica*, en cuyo desarrollo Erwin Schrödinger, de la Universidad de Zurich, jugó un importante papel.

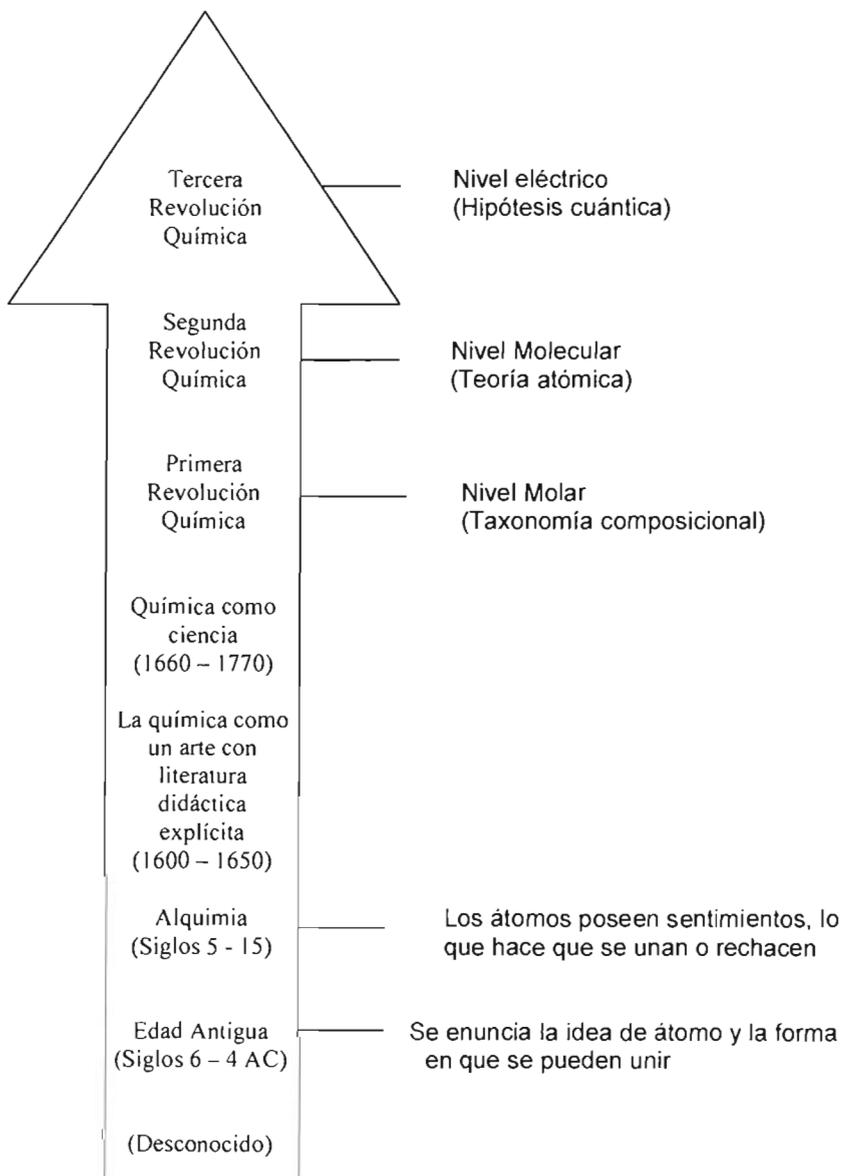
Esta teoría se basa en el carácter ondulatorio del electrón, misma que puede describirse con la ayuda de expresiones matemáticas (o también conocidas como funciones de onda) es decir, se concebía al electrón con naturaleza dual: partícula – onda. Esta función de onda es tan sólo un instrumento matemático, del cual únicamente su cuadrado tiene un significado físico preciso, que corresponde

a la probabilidad de encontrar al electrón. Esto conduce a una imagen mucho más indefinida de electrón, que se acostumbra a describir bajo la forma de una nube electrónica, pero que se traducirá en una idea mucho más exacta del enlace.

Por ser el enlace químico un fenómeno electrónico, la teoría cuántica modificó profundamente todas las ideas establecidas para generar una nueva concepción del mismo: el enlace químico es el producto de un aumento en la densidad electrónica entre los núcleos de los átomos participantes.

La tercera revolución química significó la apertura de un nuevo nivel teórico de entendimiento. Cabe mencionar que las fechas propuestas por Jensen son una aproximación, ya que es difícil establecer fechas precisas debido a que el conocimiento no se da por periodos y personajes definidos, sino que es un continuo trabajo, que va mas allá de conocimientos aislados.

Figura IV. Modelo que muestra los periodos de la química, así como sus contribuciones principales al enlace químico.



3.2 Importancia del enlace químico.

Las rocas más antiguas descubiertas hasta ahora, son los *gneis* del complejo Itsaq en el suroeste de Groenlandia. Lo peculiar de estas rocas radica en el enlace que presentan, ya que poseen cadenas constituidas alternativamente por minerales como cuarzo y feldespato, así como mica y hornblenda.

Pasarían 4000 millones de años para que el ser humano evolucionara, sin embargo, no hubiera sido posible tal suceso si no se contara con las condiciones de la Tierra primitiva, es decir con agua (H_2O), metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2) y amoníaco (NH_3), así como monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H_2).

Junto con los gases de la Tierra primitiva y las fuentes de energía que la impactaban, se comenzó a generar una amplia variedad de moléculas bioquímicamente importantes tales como azúcares, aminoácidos, nucleótidos, ácidos grasos, etcétera, para después polimerizar dando lugar a la formación de polipéptidos, polinucleótidos y otras moléculas esenciales.

Las superficies expuestas relativamente anhidras de compuestos tales como arcillas, piritas o vidrios basálticos funcionaron como soportes en las reacciones de polimerización, estableciendo las bases para el origen de la vida.

¿Quién es el responsable de la formación de los minerales más antiguos sobre el planeta?, ¿cómo explicamos las propiedades de esos materiales?, ¿en quién recae el hecho de que el planeta Tierra sea tal y como lo conocemos en la actualidad?, y más aún ¿quién propició la vida misma?. Ante tales inquietantes cuestionamientos, la Química responde satisfactoriamente con las modalidades del enlace químico.

Así, desde el origen del planeta Tierra hasta la evolución de la vida, están estrechamente relacionados con las propiedades de todas las especies químicas involucradas, las cuales se explican por la forma en que los átomos están enlazados.

Hoy, el ser humano sabe que la base de la vida recae en las moléculas, especialmente en las macromoléculas (como las proteínas, los ácidos nucleicos los lípidos y los polisacáridos), ya que son la esencia de las células.

El carbono es el elemento principal de todas las macromoléculas, es capaz de combinarse no sólo consigo mismo, sino también con muchos otros elementos para formar grandes estructuras de una diversidad y complejidad considerables. Dentro de estas estructuras se encuentran los llamados grupos funcionales que poseen propiedades químicas únicas y pueden ser importantes en funciones biológicas en la célula.

La amplia gama de materiales producidos para mejorar la calidad de vida de los seres humanos, ha tenido como base al entendimiento del enlace químico.

Es así que se utilizan macromoléculas como materia prima para elaborar productos como combustibles, aceites, fibras sintéticas, pegamentos y hasta explosivos; de igual manera se emplean moléculas de naturaleza orgánica para producir medicamentos, perfumes, artículos de belleza y para la higiene personal.

Cabe mencionar que el empleo de sistemas iónicos posee análoga importancia en la vida del hombre. Al encontrarse disueltos en el organismo, actúan como reguladores del pH, así como en funciones específicas como la transmisión de impulsos nerviosos y en la contracción celular. Como sólidos son aprovechados en la industria de la construcción, para el control de la contaminación y en la industria alimentaria.

Los sistemas metálicos, son empleados hoy día, por la principal característica que les confiere su enlace: la movilidad de electrones deslocalizados, lo que los hace buenos conductores del calor y de la electricidad.

Como se observa, el enlace químico es un concepto indispensable no sólo para explicar la cohesión de la materia y sus propiedades, sino también es la base para:

- Hacer predicciones al formar nuevos compuestos y materiales.
- Controlar los cambios en la materia.
- Explicar sistemáticamente lo que ocurre a nivel microscópico en una reacción química.

3.3 Modalidades del enlace químico.

En muchos libros de texto, tanto en el nivel medio superior, como en el nivel superior, hay un manejo independiente de las modalidades del enlace químico, lo que puede conducir a pensar que existen tipos bien diferenciados e independientes del enlace, sin embargo, esto no es así.

Para aclarar el enunciado anterior, se puede hacer una analogía comparando el fenómeno de enlace químico con los colores primarios: rojo, amarillo y azul. Desde muy niños se nos enseñó que cuando se combinan entre ellos, obtenemos los colores secundarios.

Tomemos por ejemplo la combinación de amarillo con azul, el color que se origina es el verde, pero ¿cómo definimos a este color? ¿es amarillo o es azul? o bien ¿qué tanto es amarillo o qué tanto es azul?.

Con los compuestos químicos ocurre algo muy similar, ya que los enlaces que hay entre ellos no se pueden definir como cien por ciento iónicos, cien por ciento covalentes o cien por ciento metálicos, ya que en todo compuesto químico hay una mezcla de los tres.

Previo a justificar el carácter unitario del enlace químico, se pondrá en evidencia la relación existente entre cada modalidad de enlace y las propiedades de los compuestos.

Basta decir que los metales poseen una brillantez especial, pueden doblarse sin romperse y conducen bien el calor y la electricidad. Los sólidos iónicos son duros y quebradizos y los compuestos moleculares son a menudo líquidos o gases.

No obstante, la pirita (sulfuro de hierro) resplandece con un brillo metálico igual que el diamante y el azúcar, que es un compuesto molecular sólido. Así, más de un hecho, conduce a replantear la veracidad de las tres modalidades independientes.

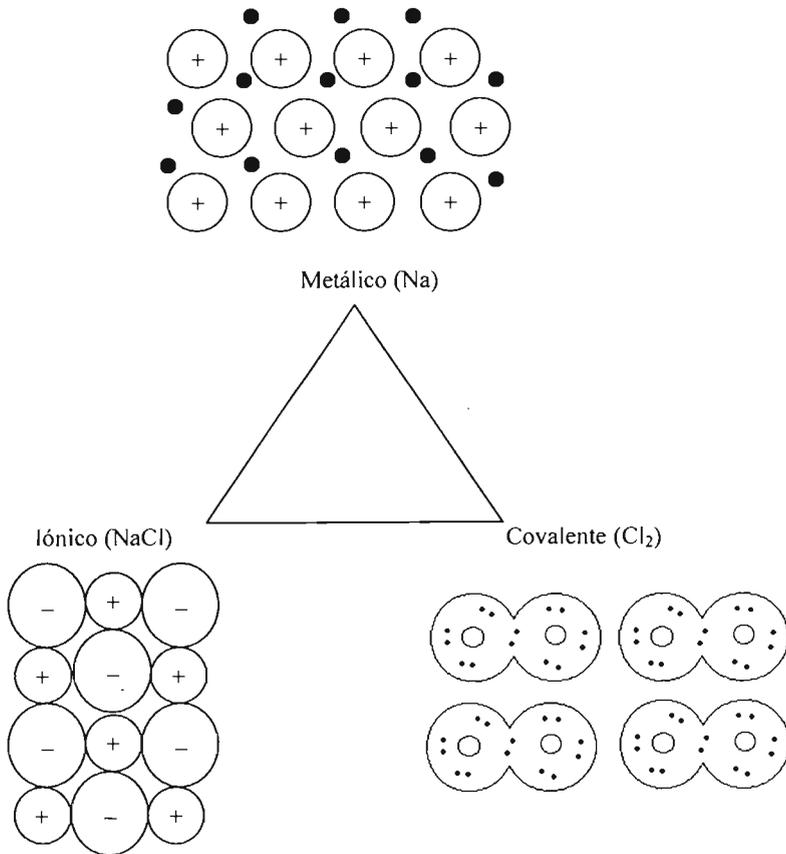
Al analizar el caso particular de una molécula biatómica de HF, se plantea que si el enlace fuera iónico, el hidrógeno cedería su electrón al flúor, formándose dos cargas opuestas. La molécula se comportaría como un dipolo eléctrico caracterizado por un gran momento dipolar ($\mu = 4.7$ Debye). Si el enlace fuera covalente, el par de electrones sería compartido por los dos átomos y no presentaría carácter dipolar ($\mu = 0$ Debye) alguno. Sin embargo, la molécula posee un cierto momento dipolar ($\mu = 1.9$ Debye) por lo que el enlace presenta un 43% de carácter iónico y un 57% de carácter covalente.

Como el ejemplo anterior hay gran variedad de compuestos que se comportan de similar manera. Todo ello apunta a afirmar que hay un solo tipo de enlace químico pero que puede tomar aspectos diferentes predominantes; los cuales para su estudio, son traducidos por los químicos en modalidades diferentes.

A este respecto, en 1941 el químico Anton Eduard van Arkel propuso un diagrama triangular para representar las transiciones progresivas entre los tres casos extremos del enlace químico: el iónico, el covalente y el metálico.

La siguiente figura muestra una adaptación realizada al diagrama original.

Figura V. Diagrama de van Arkel.



En los vértices del triángulo están colocadas las tres modalidades extremas: el metálico, el iónico y el covalente.

Para un compuesto químico cualquiera, puede considerarse que el punto que representa la naturaleza real del enlace está situado en algún lugar en el interior del triángulo. Según se sitúe más o menos cerca de uno de los vértices, se adopta esa modalidad para explicar las propiedades del compuesto.

3.4 La modalidad iónica del enlace.

Iniciaremos considerando por ejemplo la reacción entre el sodio y el cloro para producir cloruro de sodio, un compuesto predominantemente iónico:



El estudio de un cristal de cloruro de sodio, al igual que cualquier cristal iónico, demuestra que no contiene moléculas de NaCl. En lugar de ello, se encuentra un retículo regular en el que están presentes, en capas alternadas, cationes sodio y aniones cloruro.

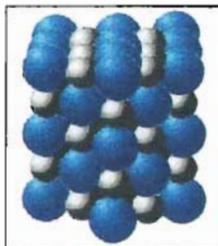


Figura VI. Distribución ordenada de cationes (esferas pequeñas) y aniones (esferas grandes) en una red cristalina de NaCl.

Los cationes y aniones se mantienen unidos en la red cristalina por la atracción eléctrica entre las cargas positivas y negativas de los iones. Los enlaces químicos entre los iones son el resultado de la atracción de Coulomb entre cargas opuestas.

La estabilidad global de un compuesto iónico sólido, depende de las interacciones de todos los iones y no sólo de un catión o de un anión. Una medida cuantitativa de la estabilidad de cualquier sólido iónico es su energía reticular, que se define como la energía requerida para separar completamente un mol de un compuesto sólido iónico en sus iones al estado gaseoso.

La energía reticular no se puede medir directamente. Sin embargo, si se sabe la estructura y la composición del compuesto iónico, se puede calcular la energía de red del compuesto utilizando la ley de Coulomb (ecuación de Born – Landé, ecuación de Kapustinskii, etcétera) o mediante el ciclo de Born – Haber, que relaciona la energía reticular con las energías de ionización, afinidades electrónicas y otras propiedades atómicas.

De lo anterior, se desprende que un sólido iónico que posea una alta energía de red, es estable.

3.5 La modalidad metálica del enlace.

En la modalidad metálica del enlace, los electrones están deslocalizados. Los átomos en un cristal metálico se pueden imaginar como una estructura de iones positivos inmersos en un mar de electrones de valencia deslocalizados, donde la gran fuerza cohesiva resultante de la deslocalización es la responsable de la resistencia mecánica de los metales, así como de su conductividad.

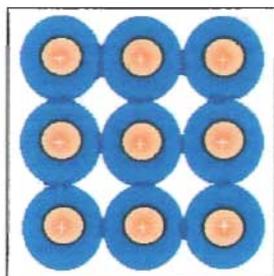


Figura VII. Sección transversal de la estructura cristalina de un metal.

Cada círculo cargado positivamente representa el núcleo y los electrones internos del átomo metálico. El área que rodea a los iones de los metales positivos indica el mar móvil de electrones.

De los elementos de la tabla periódica, 85 son metales, es decir son conductores eléctricos. Sin embargo, aún metales como el cobre y el aluminio poseen cierta resistencia eléctrica, de hecho hasta el 20% de la energía eléctrica se llega a perder en forma de calor cuando se usan estos metales en los cables de transmisión eléctrica.

Cuando ciertos metales y aleaciones alcanzan una temperatura, conocida como temperatura de transición (T_c), en donde pierden totalmente su resistencia eléctrica, adquieren la propiedad de ser superconductores. Sin embargo, esa temperatura está lejos de alcanzarse de no emplear refrigerantes como helio o nitrógeno líquidos.

Por ejemplo, el niobio posee la temperatura más alta para un metal⁵ que es de 9.3 kelvin, mientras que la más baja es de 0.0003 kelvin que corresponde al rodio.

Como puede llegar a inferirse, no es práctico usar estos materiales ya que el costo, tanto de creación como del mantenimiento, excedería con mucho el ahorro logrado en la transmisión de la electricidad. Por ello lo ideal sería contar con superconductores a temperatura ambiente para que, por ejemplo, el agua pudiera usarse como refrigerante, en vez de usar nitrógeno o helio líquidos.

⁵ Hay materiales cerámicos que tienen T_c muy superiores.

3.6 La modalidad covalente del enlace.

Ahora bien, la modalidad covalente del enlace es probablemente la modalidad más estudiada y la que con mayor frecuencia se aborda en cursos de Química. Esta modalidad está caracterizada por la compartición de pares electrónicos entre los átomos. Para explicar esta modalidad de enlace, se han propuesto diversos modelos, los cuales se describen a continuación.

El primer avance importante lo constituyó la propuesta de Gilbert Newton Lewis en torno a la función de los electrones en la formación de los enlaces químicos.

Lewis basó sus ideas en el modelo atómico de Bohr: un núcleo cargado positivamente se halla rodeado por electrones que se encuentran en capas o niveles energéticos concéntricos. Hay un máximo de electrones que pueden ser acomodados en cada capa: dos en la primera, ocho en la segunda, ocho o dieciocho en la tercera y así sucesivamente. Se alcanza la estabilidad máxima cuando se completa la capa externa, como en los gases nobles.

El modelo que inicialmente sugirió Lewis, visualizaba a los electrones externos (de valencia) ubicados en los vértices de un cubo imaginario en torno al núcleo. Un átomo deficiente de electrones que necesitase llenar los ocho vértices del cubo podría compartir aristas con otro átomo para completar su octeto.

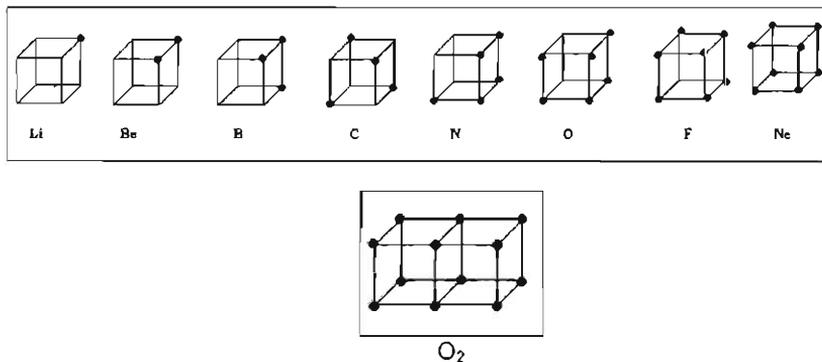


Figura VIII. En la parte superior se muestra el arreglo de los electrones de valencia, según Lewis, para los átomos del litio al neón. En la parte inferior se representa la molécula de O₂ bajo este mismo modelo.

Es decir que el enlace covalente surge de la tendencia de los átomos a alcanzar una configuración electrónica estable, compartiendo pares de electrones. El número de enlaces formados, se rige por la llamada "regla del octeto", que dice: "Los átomos donan, aceptan o comparten electrones para completar su octeto".

Sin embargo, desde que la teoría de Lewis fue publicada, se han evidenciado las dificultades inherentes a ella (Logan 2001).

Kasimir Fajans, para descalificar la propuesta de Lewis, mencionó que decir que cada uno de los átomos puede alcanzar capas electrónicas cerradas compartiendo pares de electrones, equivale a afirmar que un hombre y su esposa, si tienen dos pesos en una cuanta bancaria mancomunada, y cada uno seis pesos más en cuantas bancarias individuales, entonces tienen ocho pesos cada uno.

En 1962 se comenzaron a preparar compuestos estables de gases nobles (KrF_2 , XeF_2 , XeF_4), lo que indicaba que la configuración de gas noble no necesariamente confería estabilidad química. Además, en la actualidad se sabe que pueden existir moléculas con átomos que presenten un octeto incompleto (BeH_2) y hasta compuestos con más de ocho electrones de valencia alrededor de un átomo (SF_6).

La teoría de Lewis, a pesar de ser útil y fácil de aplicar, no indica cómo y por qué se forman los enlaces, así como tampoco proporciona información sobre la geometría de las moléculas o la polaridad de las mismas.

El modelo de repulsión de pares de electrones de la capa de valencia, o por sus siglas en inglés VSEPR (valence shell electron pair repulsion model) propuesto por R. J. Gillespie y R. S. Nyholm en 1957 predice la geometría de cualquier molécula de fórmula general AX_nS_m , en donde A es el átomo central, X los átomos ligantes y S los pares de electrones no enlazantes.

Este modelo parte de la idea de que la geometría molecular se basa en la suposición de que los pares electrónicos en la capa de valencia se repelen entre sí y tienden a estar tan lejos como sea posible. Por lo que la geometría molecular se puede predecir a partir de pares electrónicos enlazantes y libres de acuerdo a las siguientes tablas.

Tabla V. Geometría de algunas moléculas en las que el átomo central no tiene pares libres.

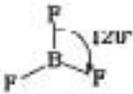
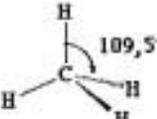
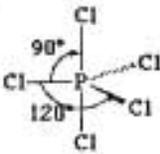
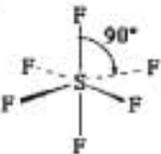
<i>Tipo de molécula</i>	<i>Pares electrónicos del átomo central</i>	<i>Ejemplo de molécula</i>	<i>Geometría molecular</i>
AX_2	2	$BeCl_2$	Lineal $Cl-Be-Cl$
AX_3	3	BF_3	Triangular plana 
AX_4	4	CH_4	Tetraédrica 
AX_5	5	PCl_5	Bipirámide trigonal 
AX_6	6	SF_6	Octaédrica 

Tabla VI. Geometría de algunas moléculas y iones en las cuales el átomo central tiene uno o más pares libres.

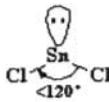
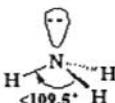
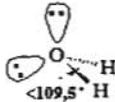
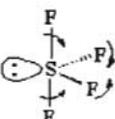
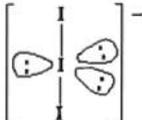
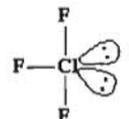
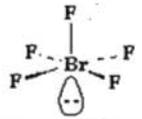
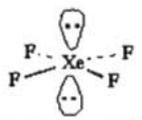
<i>Tipo de moléculas</i>	<i>Número total de pares electrónicos</i>	<i>Número de pares enlazantes</i>	<i>Número de pares libres</i>	<i>Ejemplo de molécula</i>	<i>Geometría molecular</i>
AX_2S	3	2	1	$SnCl_2$	Angular 
AX_3S	4	3	1	NH_3	Pirámide trigonal 
AX_2S_2	4	2	2	H_2O	Angular 
AX_4S	5	4	1	SF_4	Tetraedro deformado o balancín 

Tabla VI. (Continuación) Geometría de algunas moléculas y iones en las cuales el átomo central tiene uno o más pares libres.

Tipo de moléculas	Número total de pares electrónicos	Número de pares enlazantes	Número de pares libres	Ejemplo de molécula	Geometría molecular
AX_2S_3	5	2	3	I_3^-	Lineal 
AX_3S_2	5	3	2	ClF_3	Forma de T 
AX_5S	6	5	1	BrF_5	Pirámide cuadrada 
AX_4S_2	6	4	2	XeF_4	Plano-cuadrada 

Haciendo uso de la mecánica cuántica, se han propuesto dos teorías, las cuales abordan el fenómeno de enlace desde concepciones diferentes: la teoría de enlace valencia (EV) y la teoría del orbital molecular (OM).

El modelo de enlace valencia (EV) se basa en orbitales descritos por una función de onda, la cual es obtenida como solución a la ecuación de Schrödinger para el átomo de hidrógeno. El modelo asume que los orbitales en los átomos polielectrónicos son de la misma forma y tipo que para el átomo de hidrógeno y que se llenan en orden de energía de acuerdo a la regla de aufbau. La formación de un enlace sencillo es descrita en términos de traslape de orbitales, en donde el orbital enlazante contiene dos electrones con spin opuesto.

Sin embargo, los orbitales atómicos puros, no siempre permiten explicar algunas moléculas, por lo que es necesario introducir el modelo de hibridación.

Las dificultades adjudicadas a este modelo (Gillespie 1996) incluyen el uso indiscriminado de orbital, tanto para describir la función de onda como para la distribución de la densidad electrónica, originando confusiones. El concepto de hibridación es un misterio para la mayor parte de los estudiantes. En cuanto a las formas moleculares, éstas guían erróneamente llegando a pensar que la hibridación es un fenómeno físico, el cual resulta en una redistribución de la densidad electrónica en la capa de valencia de un átomo.

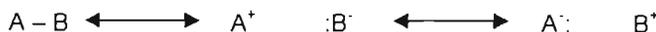
En la teoría de los orbitales moleculares, se describe al enlace en términos de la combinación y redistribución de orbitales atómicos para formar orbitales moleculares que describen a la molécula como un todo.

No hay que olvidar que los modelos anteriores han aportado en gran medida una explicación adecuada de la modalidad covalente del enlace, que ha permitido hacer importantes predicciones. Sin embargo, frecuentemente la realidad supera a los modelos.

Por otra parte, importantes aportaciones a la modalidad covalente del enlace provienen de dos personajes importantes: Linus Carl Pauling y Kasimir Fajans.

Pauling propuso la primera escala de electronegatividad. La electronegatividad se define como la tendencia de un átomo a atraer hacia sí los electrones de los átomos con los que se encuentra unidos en una molécula.

El origen de su trabajo es el cálculo de la energía de enlace para moléculas heteronucleares, del tipo A – B. Estas moléculas pueden representarse como un compromiso entre las estructuras siguientes:



Pauling propuso que el valor de la energía de enlace para esta molécula, se puede calcular empleando la siguiente ecuación:

$$D_{A-B} = \frac{(D_{A-A} + D_{B-B})}{2} + \Delta$$

donde D_{A-A} y D_{B-B} son las energías de enlace para las moléculas covalentes A – A y B – B respectivamente; Δ es la llamada energía de resonancia iónica, la cual, luego de una serie de análisis, se relacionó con la electronegatividad (χ).

En general, la electronegatividad aumenta de izquierda a derecha a lo largo de un periodo en la tabla periódica, coincidiendo con la disminución del carácter metálico de los elementos. En cada grupo, la electronegatividad disminuye al aumentar el número atómico. Nótese que los metales de transición no siguen estas tendencias.

Los átomos de elementos con diferencias de electronegatividad grande tienden a formar enlaces predominantemente iónicos unos con otros, dado que los elementos menos electronegativos donan su(s) electrón(es) al átomo del elemento de mayor electronegatividad.

Los átomos de elementos con electronegatividades similares tienden a formar entre sí enlaces predominantemente covalentes, dado que sólo ocurre un desplazamiento ligero de la densidad electrónica.

De lo anterior, se puede decir que la electronegatividad es útil para predecir el porcentaje de carácter iónico en enlaces covalentes.

Por otra parte, Fajans mediante aproximaciones en donde relaciona la carga de los cationes, su radio, así como el radio de los aniones y el tipo de configuración que presente el catión, define el carácter covalente de enlace iónicos.

3.7 La polaridad de las moléculas.

Para determinar la geometría "real" de las moléculas se emplean numerosas técnicas espectroscópicas y mediciones de rayos X, proporcionando longitudes y ángulos de enlace.

La medición del momento dipolo es un método sencillo y útil para estudiar la geometría molecular, a pesar de que no informa específicamente sobre longitudes o ángulos de enlace.

Consideremos un arreglo peculiar de cargas conocido como dipolo eléctrico. Éste consiste en dos cargas de igual magnitud y signos opuestos (+ q y - q) separadas por una distancia (d).

El momento dipolo μ , es el producto de la carga (q) por la distancia (d) que hay entre las cargas y va a proporcionar una medida de la polaridad del enlace.

En una molécula diatómica del tipo A-B resulta lógico suponer que uno de los átomos tiene mayor afinidad por los electrones del enlace. Debido a ello, en uno de los átomos existirá un déficit de carga electrónica y en el otro el exceso

3.8 Fuerzas intermoleculares.

No se puede dejar de mencionar un tipo de interacción en el que se relacionan tanto la polarización de la nube electrónica, la presencia de momentos dipolares y por ende, la geometría molecular: las fuerzas intermoleculares.

Las fuerzas intermoleculares son interacciones de menor magnitud en comparación con las responsables de mantener unidos a los átomos que constituyen un compuesto, de tal manera que se pueden romper con mayor facilidad. Estas fuerzas permiten explicar la solubilidad de un sólido en un líquido, la miscibilidad de dos o más líquidos, los puntos de fusión y ebullición de las sustancias, etcétera.

Analicemos el caso del agua cuya molécula presenta átomos con valores diferentes de electronegatividad (2.1 para el hidrógeno y 3.5 para el oxígeno), y posee como geometría un tetraedro distorsionado. Las características anteriores nos llevan a concluir que la molécula del agua es polar. Supongamos ahora que dos moléculas de agua están próximas entre sí, ocurrirá que los lados o zonas con cargas opuestas se organizarán de tal forma que se produzca una interacción "débil" entre las dos moléculas (conocida como puente de hidrógeno).

Las fuerzas intermoleculares pueden clasificarse como: ion - dipolo, dipolo - dipolo⁶, ion - dipolo inducido, dipolo - dipolo inducido, dipolo instantáneo - dipolo inducido y las fuerzas de London o de dispersión.

⁶ El puente de hidrógeno es un tipo particular de la interacción dipolo - dipolo.

CAPÍTULO 4.

INVESTIGACIÓN DESARROLLADA EN LA FACULTAD DE QUÍMICA

4.1 Marco teórico.

El principal origen de la dificultad de los alumnos para comprender el concepto de enlace químico y aun más su modalidad covalente, está en la existencia de las llamadas ideas previas que poseen (ver capítulo 2). Estas ideas conforman cierto nivel de organización en la mente de los alumnos, llevando a la construcción de modelos mentales, que la gran mayoría de las veces se encuentran alejados de los científicamente aceptados.

Por ejemplo, si asumimos la idea más simple asociada con el enlace covalente - un par de electrones es compartido por dos átomos para el caso de un enlace sencillo -, las posibles dificultades que el alumno pueda presentar se encuentran en las deficiencias que posea para comprender el concepto de átomo, electrón y lo que implica el término compartir.

Al aprender el enlace covalente, también se aprende lo relativo a las formas de las moléculas y a la polaridad que poseen. Al mismo tiempo se presentan "reglas" de combinación. Por ejemplo, la "regla del octeto" que predice, con sus limitaciones, el número máximo de electrones permitidos en una órbita.

Tal y como se observa, además de comprender conceptos básicos asociados al enlace químico y a la modalidad covalente, tales como el de átomo, electrón, fuerza, energía, molécula, los estudiantes deben asimilar muchos otros conceptos asociados y más elaborados, como la compartición de electrones, estabilidad química, geometría molecular, orbitales atómicos, electronegatividad, etcétera.

Como se puede llegar a apreciar, esta investigación desarrollada en la Facultad de Química, está enmarcada en el estudio de las ideas previas por un lado, y por el otro, los conceptos relacionados al enlace químico.

4.2 Metodología.

De antemano se sabe que los modelos mentales están en la cabeza de las personas, pero entonces ¿cómo investigarlos? ¿cómo construir modelos mentales de los modelos mentales de los alumnos?.

Las posibles metodologías para investigar los modelos mentales están basadas en la premisa de que las representaciones mentales pueden inferirse a partir de comportamientos y verbalizaciones.

Cabe mencionar que existen al menos dos dificultades importantes en su investigación. En primer lugar, porque no se puede preguntar simplemente al alumno cuál es el modelo mental que tiene para el enlace químico y más específicamente sobre la modalidad covalente del mismo.

En segundo lugar, los modelos mentales no son claros, nítidos y elegantes, sino frecuentemente son todo lo contrario: son estructuras confusas, mal hechas, incompletas y difusas.

A pesar de las dificultades antes mencionadas, las entrevistas, pruebas escritas, esquemas, árboles esquemáticos y mapas conceptuales como fuente de datos han sido las técnicas más empleadas para investigar la cognición humana.

Previo a esta tesis se realizaron varias pruebas piloto, las cuales son descritas a continuación.

Como primera prueba piloto se empleó un cuestionario diagnóstico predeterminado como producto de una tesis (García, 2004). En este cuestionario se tratan temas que van desde generalidades del enlace químico, sus diferentes modalidades, así como las fuerzas intermoleculares.

El cuestionario está dividido en secciones: la primera consiste en preguntas abiertas, la segunda parte consiste en elegir la opción correcta ante un cuestionamiento, y la última sección radica en responder ya sea falso o verdadero ante un enunciado.

El cuestionario fue utilizado por tres semestres consecutivos en grupos de teoría de la asignatura de Química Inorgánica. Su aplicación fue en dos momentos: al inicio y al final del semestre.

La información que proporcionó esta primera aproximación fue contundente para replantear los instrumentos sucesivos.

* Asignatura obligatoria para todas las carreras que ofrece la Facultad de Química, que pertenece al 3er semestre.

De esta forma se generó una segunda prueba piloto, la cual planteaba la elaboración de un mapa conceptual.

Esta prueba piloto fue aplicada una vez a los alumnos de un laboratorio de Química Inorgánica, al final del semestre escolar. Para hacer la prueba más interesante, a los alumnos se les dio en una pequeña bolsa los conceptos (que sumaban más de 25) impresos en etiquetas, para que ellos, a manera de rompecabezas armaran su mapa conceptual.

Los resultados fueron sumamente enriquecedores e hicieron que se depurara el número de los conceptos para el instrumento final.

Al mismo grupo anterior se le aplicó la tercera prueba piloto, que consistió en una entrevista en donde se les cuestionaba sobre el mapa conceptual que habían elaborado.

Nuevamente los resultados fueron valiosos e hicieron que la entrevista como instrumento final adquiriera otro sentido.

De este modo y para la investigación que se presenta en esta tesis se trabajó con tres instrumentos: prueba escrita, mapa conceptual y entrevista, los cuales tuvieron como ejes principales los siguientes tópicos:

- Generalidades del enlace químico
- Propiedades de los compuestos covalentes.
- Polaridad del enlace.
- Geometría molecular

La justificación de la elección de esos tres instrumentos se detalla a continuación y para ver las pruebas completas se recomienda ir al apéndice de esta tesis.

La prueba escrita permite detectar las concepciones de los alumnos de una manera rápida y sencilla. Los mapas conceptuales permiten mostrar las relaciones que los alumnos atribuyen a los conceptos a través de palabras conectoras, resultando un instrumento sumamente enriquecedor.

Dado que la entrevista consiste en una situación de comunicación verbal y bidireccional, cumple muchos de los requisitos que toda metodología de evaluación de las concepciones alternativas debe tener en cuenta. En primer lugar, permite una comunicación abierta que hace posible abarcar la complejidad de las concepciones. En segundo lugar, consigue hacer explícitas las concepciones que subyacen a la acción. En resumen, proporciona gran cantidad

de información relevante y la posibilidad de estudiar el pensamiento del alumno a mayor profundidad.

Cabe mencionar que dentro de la entrevista hay un apartado para que el alumno esquematice sobre cierto concepto, pero además de esquematizarlo se le pedía que lo explicara.

El orden en que fueron aplicados los instrumentos fue de suma importancia, empezando en primer lugar, por la prueba escrita, seguida de la realización del mapa conceptual y finalizando con la entrevista, esto con la finalidad de que en la entrevista se diera una discusión acerca de las respuestas de la prueba escrita y del mapa conceptual, llevando con ello a aclarar ciertas imprecisiones y generando datos más enriquecedores.

La muestra total de alumnos (que fue de veinticinco), se dividió en dos grupos, el primero de ellos (al que llamaré A), consistió en alumnos de primer semestre, y el segundo grupo de alumnos (al que llamaré B), fueron alumnos desde el cuarto semestre hasta el sexto semestre. La siguiente tabla muestra su distribución.

Tabla VII. Distribución de alumnos

Semestre	Grupo	Número de alumnos
Primero	A	10
Cuarto	B	6
Quinto	B	5
Sexto	B	4

Esta elección de alumnos se basa en el hecho de que es en los primeros tres semestres de todas las carreras impartidas en la Facultad de Química cuando se enseña el tema de enlace químico. De esta manera, alumnos de primer semestre poseerán un concepto de enlace químico basado fundamentalmente en ideas previas. En cambio se espera que alumnos de cuarto, quinto y sexto semestre que, aparentemente alcanzaron el cambio conceptual, mantengan este conocimiento a través del tiempo.

Es necesario mencionar que los alumnos de primer semestre fueron evaluados al inicio del semestre. Por otro lado, los alumnos de cuarto, quinto y sexto semestres fueron elegidos de acuerdo a tres características adicionales:

1. El tema de enlace químico fue visto por el mismo profesor.
2. Su desempeño en clase mostró la adquisición de un aprendizaje significativo y correcto.
3. Son alumnos de alto desempeño académico.

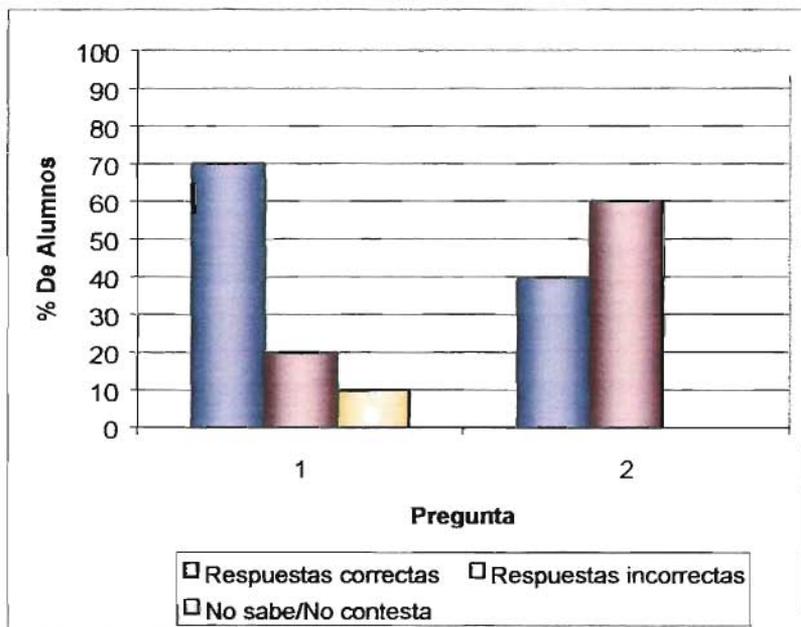
CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y SU ANÁLISIS

5.1 Resultados obtenidos en los instrumentos.

Instrumento	Eje principal	Grupo de estudio
Cuestionario escrito (sección de falso y verdadero)	Generalidades del Enlace Químico	A

Preguntas
1. El enlace químico es una entidad física (es materia).
2. Hay una frontera que permite separar claramente las modalidades de enlace en covalente, iónico y metálico.

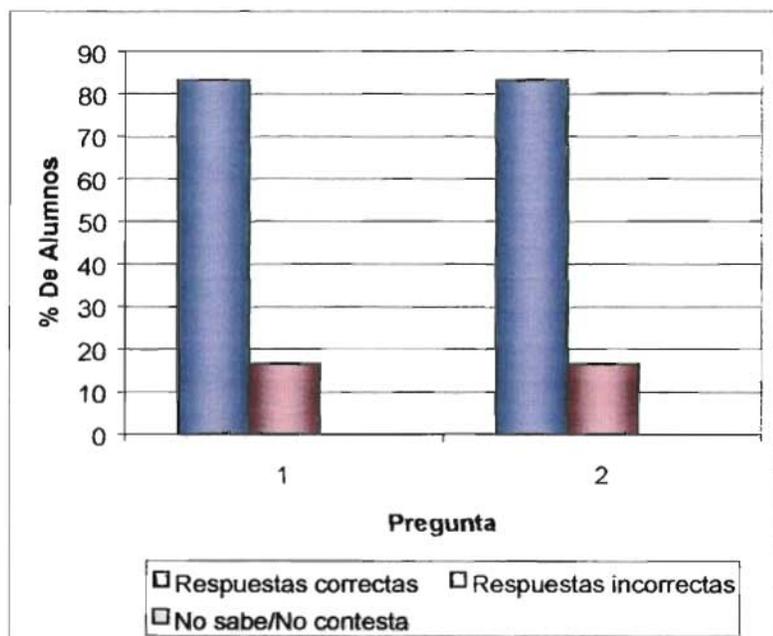
Tabla 1.



Instrumento	Eje principal	Grupo de estudio
Cuestionario escrito (sección de falso y verdadero)	Generalidades del Enlace Químico	B

Preguntas
1. El enlace químico es una entidad física (es materia).
2. Hay una frontera que permite separar claramente las modalidades de enlace en covalente, iónico y metálico.

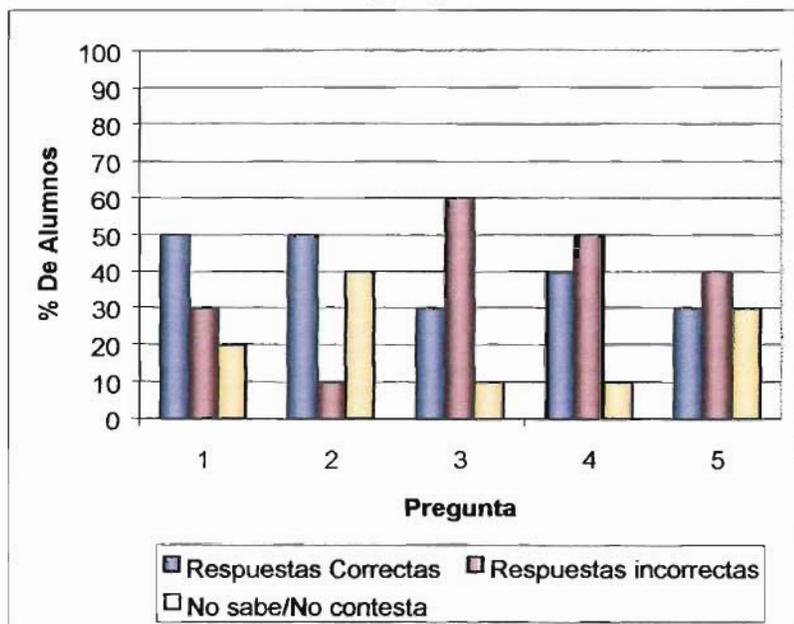
Tabla 2.



Instrumento	Eje principal	Grupo de estudio
Cuestionario escrito (sección de falso y verdadero)	Características y Propiedades de la Modalidad Covalente	A

Pregunta
1. En un enlace covalente cada uno de los átomos cede un par de electrones para la formación del enlace.
2. El carbono, el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno y el azufre son los únicos elementos que pueden formar enlaces covalentes.
3. Los compuestos covalentes no pueden formar sólidos cristalinos, pero si los podemos encontrar como gases y líquidos.
4. Si un compuesto no se disuelve en agua y no conduce la corriente eléctrica, entonces es un compuesto covalente.
5. Los enlaces covalentes se rompen cuando una sustancia cambia de estado.

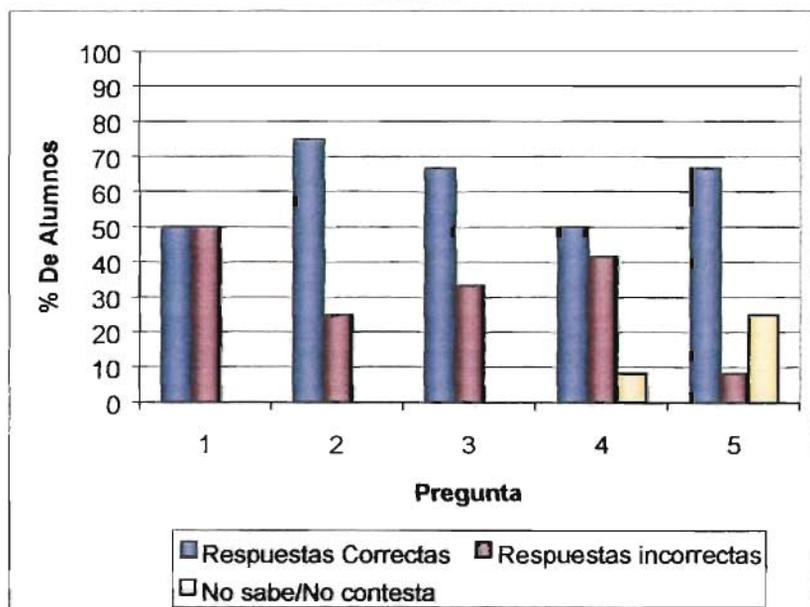
Tabla 3.



Instrumento	Eje principal	Grupo de estudio
Cuestionario escrito (sección de falso y verdadero)	Características y Propiedades de la Modalidad Covalente	B

Preguntas
1. En un enlace covalente cada uno de los átomos cede un par de electrones para la formación del enlace.
2. El carbono, el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno y el azufre son los únicos elementos que pueden formar enlaces covalentes.
3. Los compuestos covalentes no pueden formar sólidos cristalinos, pero sí los podemos encontrar como gases y líquidos.
4. Si un compuesto no se disuelve en agua y no conduce la corriente eléctrica, entonces es un compuesto covalente.
5. Los enlaces covalentes se rompen cuando una sustancia cambia de estado.

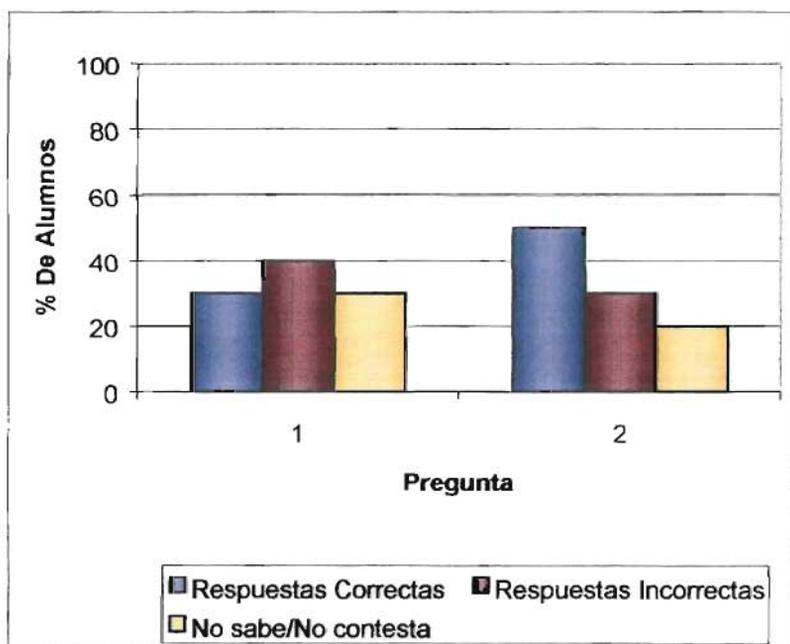
Tabla 4.



Instrumento	Eje principal	Grupo de estudio
Cuestionario escrito (sección de falso y verdadero)	Polaridad	A

Preguntas
1. La polaridad de una molécula depende únicamente de la diferencia de electronegatividad entre los átomos que forman cada enlace en la molécula.
2. Las moléculas no simétricas con enlaces polares son polares.

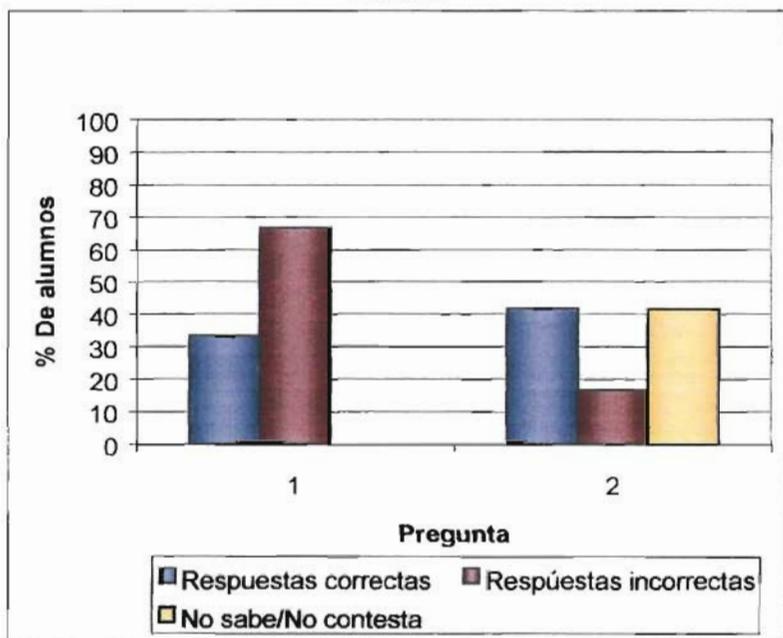
Tabla 5.



Instrumento	Eje principal	Grupo de estudio
Cuestionario escrito (sección de falso y verdadero)	Polaridad	B

Preguntas
1. La polaridad de una molécula depende únicamente de la diferencia de electronegatividad entre los átomos que forman cada enlace en la molécula.
2. Las moléculas no simétricas con enlaces polares son polares.

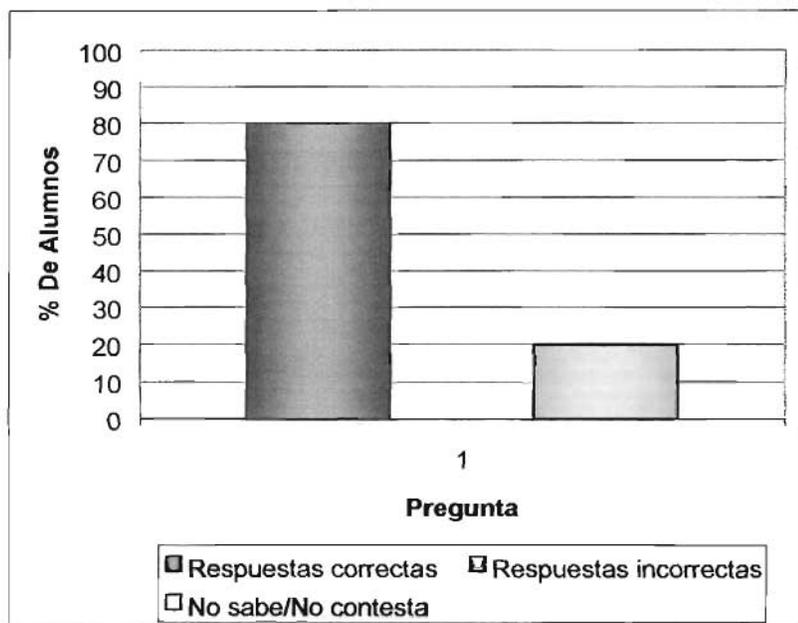
Tabla 6.



Instrumento	Eje principal	Grupo de estudio
Cuestionario escrito (sección de falso y verdadero)	Geometría molecular	A

Pregunta
1. La forma de una molécula es el resultado de la repulsión de todos los pares de electrones libres y enlazantes.

Tabla 7.



Instrumento	Eje principal	Grupo de estudio
Cuestionario escrito (sección de falso y verdadero)	Geometría molecular	B

Pregunta
1. La forma de una molécula es el resultado de la repulsión de todos los pares de electrones libres y enlazantes.

Tabla 8.

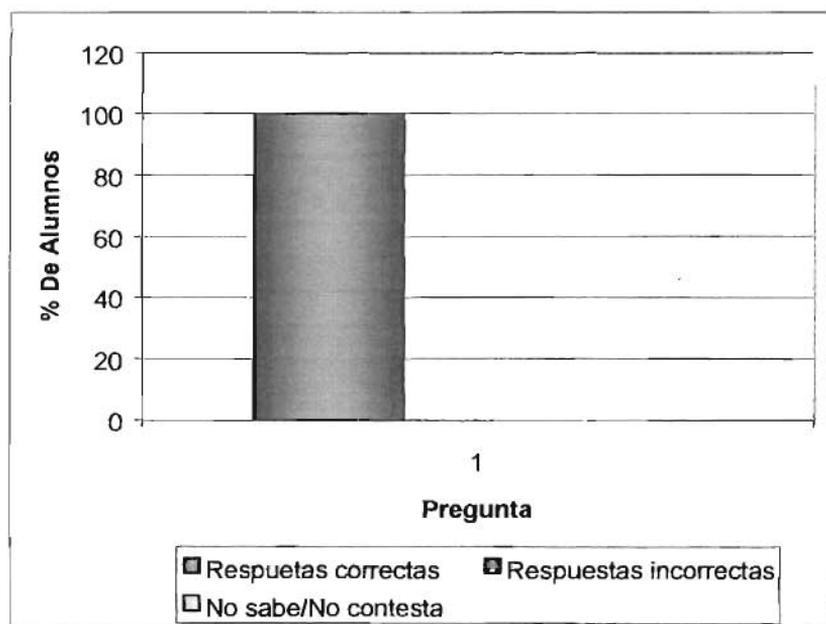


Tabla 9.

Instrumentos	Pregunta correspondiente a la entrevista	Eje primario	Eje secundario
Mapa Conceptual y Entrevista	<i>¿Qué es para ti el concepto de enlace químico?</i>	Generalidades del Enlace Químico	Concepto del Enlace Químico

Grupo A	Grupo B
Fuerza electromagnética, por medio de la cual, la materia (en este caso los electrones) presenta interacciones.	Tipo de interacciones electrostáticas que mantienen unidos a los átomos.
Unión entre dos o más átomos, iguales o diferentes para formar moléculas.	
Fuerza que hay para unir moléculas o átomos.	Son fuerzas interatómicas que se dan entre iones y moléculas, de naturaleza física o química.
Un tipo de interacción electrónica entre los elementos.	
Energía con que se unen las moléculas.	Es la energía que interacciona entre dos átomos.
	Es un modelo que permite explicar la interacción de compuestos y las interacciones que existen entre los átomos.
	Es lo que está dentro de las moléculas.
	Es una entidad física que permite ver cómo están unidos los átomos.
	Es una entidad física, ya que está formado por electrones y el electrón tiene masa, por eso el enlace químico es materia.
	El enlace químico es la fuerza que actúa sobre la materia.

Tabla 10.

Instrumentos	Pregunta correspondiente a la entrevista	Eje primario	Eje secundario
Mapa Conceptual y Entrevista	<i>¿Crees que el concepto de enlace químico sea importante para tu formación?</i>	Generalidades del Enlace Químico	Importancia del Enlace Químico

Grupo A	Grupo B
Es importante porque determina propiedades físicas y químicas.	Es importante porque te lleva a entender propiedades físicas y químicas, como propiedades magnéticas, ópticas y geométricas.
Es importante porque ayuda a comprender a la química.	
Es un concepto fundamental para el estudio de las sustancias.	
Es importante porque gracias a él, existe la materia.	
	Es importante porque permite predecir reacciones.
	Es importante porque es uno de los temas que se aplica a todas las asignaturas, entenderlo implica entender mecanismos de reacción, cinética química, etcétera.
	Si es importante, sobre todo los enlaces iónicos (para el caso de los ingenieros) ya que lo puedo aplicar a asignaturas como Electroquímica y Química Analítica.
	Es importante, porque involucra procesos, sustancias y mediante él, se relaciona la energía para formar nuevos compuestos.
	El tema de enlace químico es básico, por ejemplo en Química Orgánica, donde aplicamos un concepto, por ejemplo debes saber la polaridad de la molécula para poder cristalizarla en la sustancia apropiada.
	Es importante porque por ejemplo en los alimentos, el enlace que prevalece es el enlace covalente.
	Pienso que en la carrera de Ingeniería Química no hay mucha aplicación, ya que lo que se busca es transformar la materia, y creo que la aplicación de lleno recae en la carrera de Química.

Tabla 11.

Instrumentos	Pregunta correspondiente a la entrevista	Eje primario	Eje secundario
Mapa Conceptual y Entrevista	<i>¿Qué modalidades de enlace químico conoces?</i>	Generalidades del Enlace Químico	Modalidades del Enlace Químico

Grupo A	Grupo B
Covalente	Covalente
Iónico	Iónico
Metálico	Metálico
Covalente polar	Covalente polar
Covalente – iónico	
Covalente no polar	Covalente no polar
Dipolo – Dipolo	
Puentes de hidrógeno	
De coordinación	De coordinación
Ion Dipolo	
	Fuerzas de dispersión

Tabla 12.

Instrumentos	Pregunta correspondiente a la entrevista	Eje primario	Eje secundario
Mapa Conceptual y Entrevista	<i>Esas modalidades ¿son independientes entre sí?</i>	Generalidades del Enlace Químico	Independencia entre las Modalidades del Enlace Químico

Grupo A	Grupo B
Las modalidades del enlace químico no son independientes, la diferenciación obedece a razones didácticas.	
Las modalidades del enlace químico no son independientes, ya que no hay diferencias tajantes entre ellas.	
Las modalidades del enlace químico si son independientes, ya que dependen de la capacidad de combinación entre átomos.	Las modalidades del enlace químico no se pueden separar, ya que hay sustancias que presentan las propiedades de compuestos iónicos y viceversa.
	No se puede poner una línea tajante entre las modalidades del enlace químico, lo que sí es posible es cierta preferencia en ciertos compuestos.
	No se pueden separar, ya que hay compuestos que son representativos para cada modelo.
	Recuerdo que lo manejábamos en un triángulo y que no había un compuesto 100% iónico o covalente.

Tabla 13.

Instrumentos	Pregunta correspondiente a la entrevista	Eje primario	Eje secundario
Mapa Conceptual y Entrevista	<i>¿Qué es el enlace covalente?</i>	Características y Propiedades de la Modalidad Covalente del Enlace Químico	Concepto de Enlace Covalente

Grupo A	Grupo B
Se da un enlace covalente cuando se unen dos elementos no metálicos en donde comparten electrones para completar el octeto de Lewis.	Es el enlace que se da entre los elementos no metálicos.
Es el enlace en donde las nubes electrónicas son compartidas por los átomos.	
Para que un enlace sea covalente, debe haber una diferencia de electronegatividad entre los elementos menor a 1.7.	Es la interacción que existe entre elementos con poca diferencia de electronegatividad, o entre mismos elementos.
El enlace covalente es cuando se comparten pares electrónicos.	El enlace covalente es cuando cada átomo comparte un par de electrones y la diferencia de electronegatividad es baja o prácticamente cero.
Es el enlace que se da entre las moléculas.	El enlace covalente da lugar a moléculas.
	Es aquel enlace en donde cada átomo comparte un electrón.
	En el enlace covalente uno de los átomos dona el par de electrones.
	Es el enlace en donde dos elementos no metálicos comparten electrones y poseen cierta polaridad.
	El enlace covalente es el que está regido por la regla del octeto.

Tabla 14.

Instrumentos	Pregunta correspondiente a la entrevista	Eje primario	Eje secundario
Mapa Conceptual y Entrevista	<i>¿Qué propiedades presentan los compuestos covalentes?</i>	Características y Propiedades de la Modalidad Covalente del Enlace Químico	Propiedades de los Compuestos Covalentes

Grupo A	Grupo B
Son compuestos blandos.	No forman sólidos cristalinos.
Son gases.	Sólo se pueden encontrar como líquidos o gases.
Son malos conductores térmicos.	
Son semejantes a los metales.	
Son sustancias débiles que se rompen fácilmente.	
Son moléculas diatómicas.	
Todos los compuestos covalentes tienen como característica que cumplen con la regla del octeto.	La mayoría de los compuestos covalentes cumplen con la regla del octeto.
	Tanto la electronegatividad, la polaridad y los pares libres, definen las propiedades físicas y químicas de las moléculas.
	El enlace covalente origina moléculas orgánicas.
	Presentan puntos de fusión y ebullición altos.
	Son insolubles en agua.
	Sus puntos de fusión son bajos en comparación con los sólidos cristalinos.
	Presentan uniones fuertes.
	Son sustancias opacas.
Son malos conductores de la electricidad.	No conducen la corriente eléctrica (porque los electrones compartidos impiden que la conduzcan).
	No conducen la corriente eléctrica (porque no se disocian).
	No conducen (porque no forman iones).
	No conducen (por la ausencia de carga).
	No conducen (porque no hay electrones).

Tabla 15.

Instrumentos	Pregunta correspondiente a la entrevista	Eje principal
Mapa Conceptual y Entrevista	¿Cómo puedes saber si una molécula es polar?	La Polaridad de las Moléculas

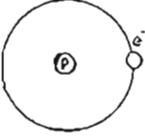
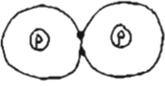
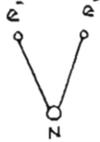
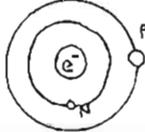
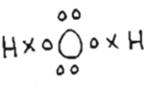
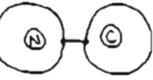
Grupo A	Grupo B
Yo puedo saber si una molécula es polar al ver las cargas de los elementos que hay en la molécula.	La polaridad tiene que ver con los átomos que están al final de la molécula y si hay grupos que formen puentes de hidrógeno y / o con carga.
Puedo comparar las electronegatividades de los elementos que forman la molécula y así saber el carácter polar.	La polaridad de una molécula depende de la electronegatividad que presente.
Si tienen pares de electrones libres, es un buen indicio de que la molécula es polar.	
La solubilidad en diferentes sustancias me permite saber la polaridad de una sustancia.	
	A la fecha no lo he entendido. Entiendo que la polaridad se refiere a la diferencia de cargas. Lo que si estoy segura es que para que una sustancia sea polar debe ser una molécula covalente ya que nunca he escuchado que los compuestos iónicos sean polares.
	Para saber si una molécula es polar debo ver los átomos, los electrones, la geometría molecular, el arreglo en el espacio y la existencia de simetría.
	Lo que yo hago para ver si una molécula es polar, es ver si hay elementos electronegativos y la ausencia de simetría.
	La electronegatividad es una propiedad de los elementos que origina un momento dipolar.
	La polaridad causa una organización tridimensional buscando mayor estabilidad de la molécula.

Tabla 16.

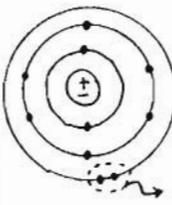
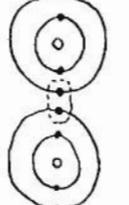
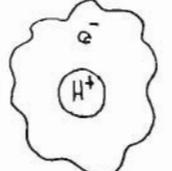
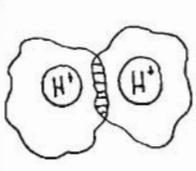
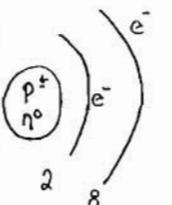
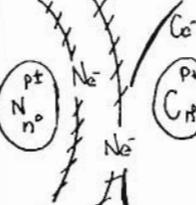
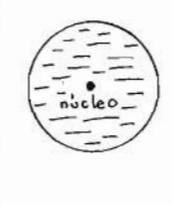
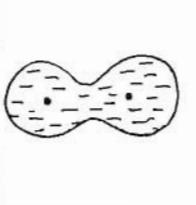
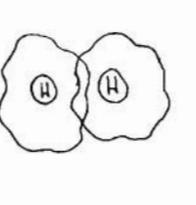
Instrumentos	Pregunta correspondiente a la entrevista	Eje principal
Mapa Conceptual y Entrevista	<i>¿Cómo puedes saber la geometría de una molécula?</i>	La Geometría Molecular

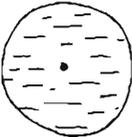
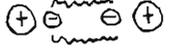
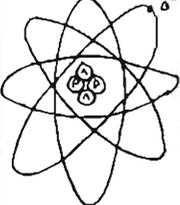
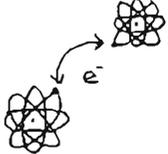
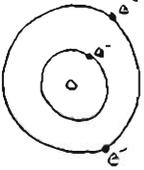
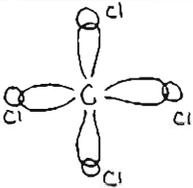
Grupo A	Grupo B
La geometría molecular se puede saber por el número de oxidación que presenta la molécula.	Para saber la geometría de una molécula primero dibujo la estructura de Lewis, y luego veo los pares de electrones enlazantes y libres.
Si desarrollo la estructura de Lewis puedo saber la geometría molecular.	
Si sé la valencia de cada elemento que forma la molécula, puedo llegar a saber la forma que tendrá.	
El tipo de enlace es una buena pista para saber la geometría.	
	La geometría molecular está dada por los electrones que se comparten y no se comparten, así como por los dobles y triples enlaces.
	Se puede llegar a saber la geometría de una molécula a partir de datos experimentales, el momento dipolar y el ángulo de enlace.
	Se puede saber por difracción de rayos X.
	En base a su enlace y por los patrones establecidos por la teoría RPECV.
	Al analizar las interacciones y calcular la fuerza entre los átomos por la ley de Coulomb, puedo tener una idea de cómo es la geometría.
	Para saber la geometría me ayuda la regla del octeto y viendo si hay hibridaciones.
	La electronegatividad que los átomos tienen provoca la geometría molecular.

Esquemas pertenecientes a la última fase de la entrevista para el grupo A.

Representación de un átomo	Representación de la unión covalente	Explicación
		<p>En un átomo, el protón está en el centro y hay electrones girando alrededor de ellos. En el enlace covalente cada átomo comparte un par de electrones.</p>
		<p>Los átomos aislados tienen electrones colocados en capas sucesivas, en medio está el núcleo. Cuando el enlace químico se da, hay algo que los une (no sé qué es).</p>
		<p>Alrededor de los protones del núcleo, se encuentran los electrones girando. Cuando un electrón es compartido por los dos átomos se da un enlace.</p>
		<p>En el núcleo de los átomos se encuentran los electrones, girando están los protones y neutrones. En un enlace covalente, hay compartición de electrones.</p>
<p>H •</p>	<p>H • • H</p>	<p>El átomo que estoy representando es el de hidrógeno, la letra H implica el núcleo y el punto representa al electrón de valencia. Cuando dos hidrógenos comparten dos electrones puedo considerar que hay un enlace covalente.</p>
		<p>Me imagino a un átomo como una nube de electrones y al centro de esa nube se encuentra el núcleo, cuando en dos nubes de dos átomos hay compartición de electrones hay un enlace covalente.</p>
		<p>En el centro del átomo está el núcleo y girando están los electrones. Va a haber algo (no sé qué es) que hace que los electrones se unan.</p>

Esquemas pertenecientes a la última fase de la entrevista para el grupo B.

Representación de un átomo	Representación de la unión covalente	Explicación
		<p>Los átomos tienen capas en donde se encuentran los electrones (ordenados 2 en la primera, 6 en la segunda, etc.). El núcleo tiene protones y electrones, pero pasa algo raro, ya que estos no se repelen. Los electrones de las últimas capas salen muy fácilmente. Para formar un enlace covalente, un átomo va a compartir el electrón.</p>
		<p>Voy a representar el átomo de hidrógeno. Alrededor del núcleo está la nube electrónica y por ahí está el electrón. En la unión covalente, lo que hay es un traslape de las nubes electrónicas.</p>
		<p>El círculo es el núcleo con protones y neutrones, y a su alrededor hay niveles de energía con electrones. En el enlace covalente que represento, los electrones del nitrógeno, estarán dentro de las órbitas del carbono.</p>
		<p>Voy a representar al hidrógeno. Está el núcleo, y toda esta (zona gris) es la zona donde se puede encontrar al electrón. En el enlace covalente, el carbono comparte uno de sus electrones y va a estar moviéndose entre la nube del carbono y la del hidrógeno, junto con el electrón del hidrógeno.</p>
		<p>Es difícil representar a un átomo, porque la palabra átomo es un concepto muy abstracto. Te dibujo el núcleo del hidrógeno y alrededor la n probabilidad de encontrar el electrón. En el enlace con otro hidrógeno, los electrones se encuentran en las órbitas para los dos.</p>

Representación de un átomo	Representación de la unión covalente	Explicación
		<p>Mi átomo lo represento como un punto y alrededor tiene electrones y protones. Cuando los dos átomos comparten los electrones forman el enlace.</p>
		<p>Este es el núcleo (el punto negro) y por aquí está el electrón (en la nube electrónica). Cuando hay un enlace, en esta zona (zona compartida), está el par de electrones perfectamente localizables.</p>
		<p>Es difícil representar a un átomo porque un átomo siempre va a tener interacciones y representarlas es difícil, además de que el electrón nunca está en la misma posición.</p>
		<p>En el átomo, está dibujado el núcleo con sus protones y electrones va a tener cierta masa concentrada, alrededor hay electrones. En el enlace los electrones que no son del core cuando se juntan los átomos van a empezar a circular en las orbitas de otro átomo.</p>
		<p>Un átomo lo represento como un punto y el enlace serán dos puntos unidos.</p>
		<p>Es complicado representar a un átomo, el modelo con que yo me quedé es el modelo atómico de Bohr, sin embargo, los electrones no se pueden ver específicamente. Para el enlace químico es más fácil representarlo, puedo dibujar las nubes electrónicas de cada átomo y su compartición.</p>

5.2 Análisis de resultados.

El análisis de resultados que a continuación se presenta está distribuido en dos secciones: en la primera se analizan por separado los resultados contenidos en cada instrumento, para después analizarlos en conjunto en la segunda sección.

Previo a iniciar el análisis, no está demás recordar el orden en que los instrumentos fueron aplicados, ya que el análisis seguirá esa tendencia: En primer lugar se aplicó el cuestionario escrito, posteriormente el mapa conceptual y para finalizar, la entrevista.

Las tablas 1 y 2 muestran los resultados para el primer eje en estudio "Generalidades del enlace químico". Para la pregunta número uno, el 70 % de alumnos del grupo A tuvo la respuesta correcta, por su parte el grupo B obtuvo cerca del 80 % de alumnos con respuestas correctas. La pregunta número dos muestra que el porcentaje de alumnos que responde correctamente para el grupo A es de 40 %, mientras que para el grupo B se mantiene el porcentaje cercano a 80 %.

Si consideráramos únicamente estas tablas, los resultados nos hablarían de que el grupo B muestra aparentemente mayor número de alumnos con conocimiento correcto.

Para las tablas 3 y 4 correspondientes al eje llamado "Características y propiedades de la modalidad covalente", es de llamar la atención que para el grupo A aumenta el porcentaje de alumnos que responde con la opción en donde el alumno no sabe qué responder o bien no contesta, indicándonos una ausencia de conocimientos.

Para el grupo A aparentemente las preguntas tres, cuatro y cinco generan algún tipo de discrepancia en los alumnos, ya que el porcentaje de respuestas incorrectas supera el porcentaje de respuestas correctas. En cambio para el grupo B la única pregunta que igualó los porcentajes en las respuestas correctas e incorrectas fue la número uno.

De manera general nuevamente el grupo B superó en este primer acercamiento, los conocimientos del grupo A.

En el caso de las tablas 5 y 6 correspondientes al eje de "Polaridad de las moléculas", ocurre un fenómeno notable, para la primera pregunta el porcentaje de alumnos que responden correctamente para ambos grupos es muy similar (aproximadamente el 30 %), lo cual nos indica un aparente retroceso del grupo B en cuanto a dominio del tema. Similarmente para la pregunta número dos, el porcentaje está entre 40 y 50 % en respuestas correctas para ambos grupos.

Sin embargo, la tabla 8 correspondiente al eje de la Geometría molecular indica que aparentemente el 100 % del grupo B aún posee el aprendizaje

significativo y correcto que mostró poseer y que ha sido reforzado quizás en otras asignaturas. Por su parte como lo muestra la tabla 7, el grupo A tuvo 20 % de respuestas en donde el alumno contestó no saber o no contestó.

De las tablas 9 a la 16 se muestra un compendio de las principales ideas previas ya sean incorrectas o correctas obtenidas del mapa conceptual y de la entrevista. Cabe mencionar que la forma en que están dispuestas obedece al fin de visualizar si la misma idea previa aparece en ambos grupos de estudio o sólo en uno de ellos.

Los esquemas pertenecientes a las entrevistas son muy interesantes, dado que varios esquemas del grupo A están igualmente representados en los esquemas del grupo B, además de que llama la atención el hecho de que en más de un esquema del grupo A hay un cambio en la representación de un átomo y la representación del enlace covalente de ese átomo. Lo que sugiere que el alumno cambia de dibujo, al verse incapacitado para representar en él el enlace que se pide, y este hecho no ocurre en ningún esquema del grupo B.

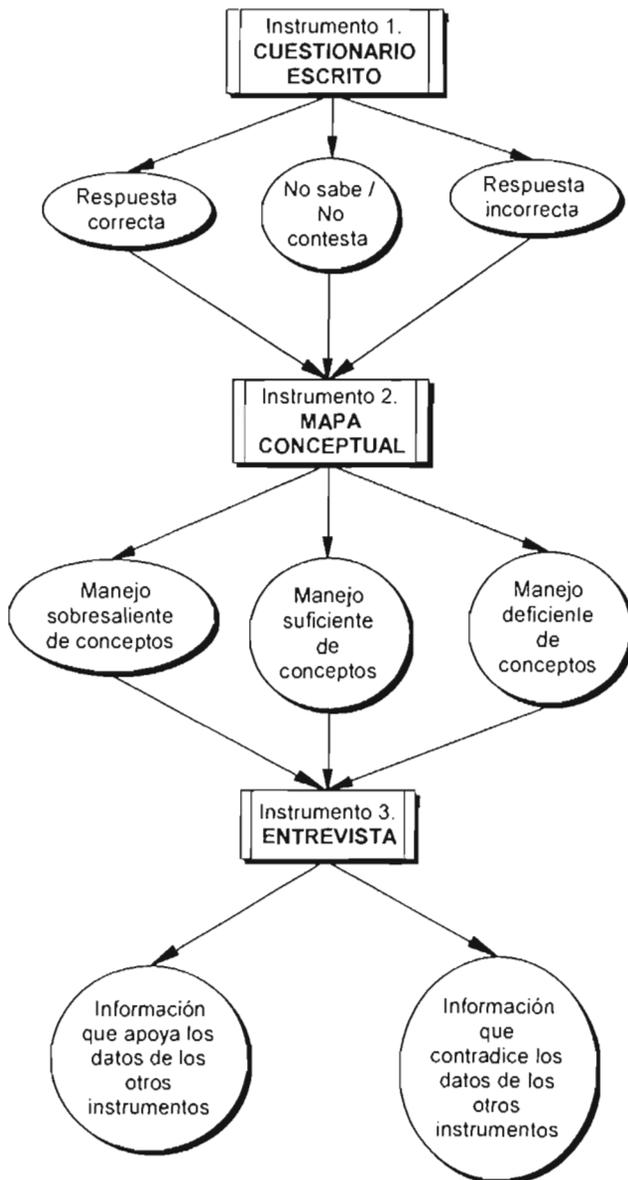
El análisis hasta este momento trató de presentar lo que sucede al estudiar los resultados por separado, pareciendo un tanto laxo. Sin embargo, el análisis que en conjunto se hace a continuación, aclara con mayor detalle la información obtenida.

La figura XI que luce a continuación, tiene como finalidad dos puntos importantes para la investigación:

- 1) En primer lugar muestra la clasificación de la información obtenida para cada instrumento.
- 2) En segundo lugar permite observar la base conceptual que hay detrás de las respuestas del primer instrumento, de tal manera que puede apreciarse que una respuesta correcta para el cuestionario escrito, no necesariamente implica un mapa conceptual satisfactorio y una entrevista que apoye la información obtenida de los anteriores instrumentos.

En otras palabras, los resultados del cuestionario escrito pueden ser similares a visualizar a lo lejos la cima de una montaña y conforme nos acercamos más y más a ella, descubrimos lo que hay en su base: desde lagunas (conceptuales), hasta construcciones bien fundamentadas.

Figura XI. Clasificación de resultados.



En los siguientes ejemplos se ponen de manifiesto las cuatro principales posibilidades que conducen a una respuesta. Se eligió como eje principal la polaridad de las moléculas, por lo que únicamente se presentan las secciones de los tres instrumentos correspondientes a ese eje.

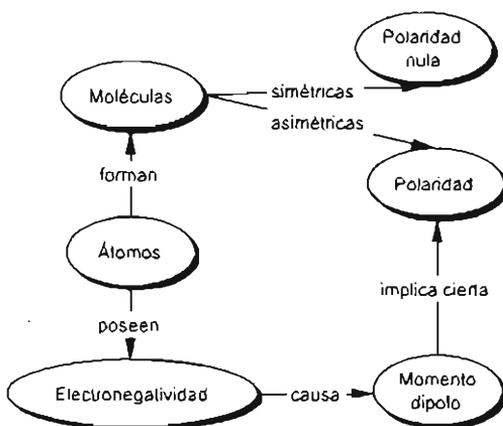
Cabe mencionar que toda la información de los ejemplos (tanto las respuestas a la sección falso / verdadero, los mapas conceptuales y las entrevistas) fueron extraídas de los instrumentos correspondientes.

Ejemplo A.

Instrumento 1.

E La polaridad de una molécula depende únicamente de la diferencia de electronegatividad entre los átomos que forman cada enlace en la molécula.

Instrumento 2.



Instrumento 3.

Entrevistador	Alumno
¿Cómo puedes saber si una molécula es polar?	Bueno, lo primer que hago es ver si en la molécula en cuestión hay elementos electronegativos ⁶ , y después veo que no haya simetría en ella (en la molécula).

⁶ El concepto de electronegatividad al que se hace referencia el alumno es el de Berzelius, en donde se menciona que hay elementos electronegativos y elementos electropositivos.

Ejemplo B.

Instrumento 1.

V La polaridad de una molécula depende únicamente de la diferencia de electronegatividad entre los átomos que forman cada enlace en la molécula.

Instrumento 2.



Instrumento 3.

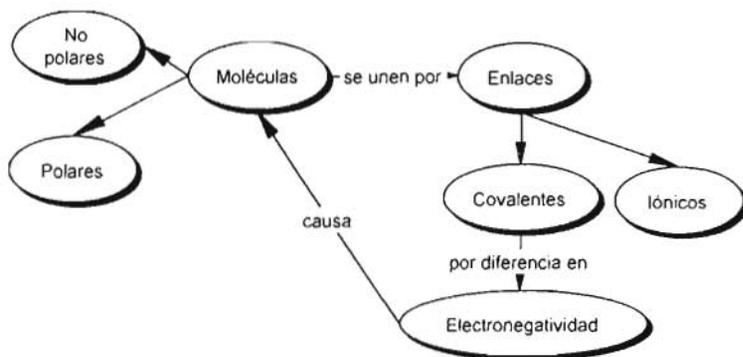
Entrevistador	Alumno
¿Cómo puedes saber si una molécula es polar?	(Silencio) Trato de encontrar un lugar (en la molécula) en donde un átomo atrae más.

Ejemplo C.

Instrumento 1.

E La polaridad de una molécula depende únicamente de la diferencia de electronegatividad entre los átomos que forman cada enlace en la molécula.

Instrumento 2.



Instrumento 3.

Entrevistador	Alumno
¿Cómo puedes saber si una molécula es polar?	(Breve pausa de silencio) Tienen que ver los átomos que están al final de la molécula, si hay grupos que formen puentes de hidrógeno y / o con carga.

Ejemplo D.

Instrumento 1.

✓ La polaridad de una molécula depende únicamente de la diferencia de electronegatividad entre los átomos que forman cada enlace en la molécula.

Instrumento 2.



Instrumento 3.

Entrevistador	Alumno
¿Cómo puedes saber si una molécula es polar?	La polaridad de una molécula se ve afectada notablemente por la electronegatividad y si la geometría de la molécula origina un vector resultante positivo, la molécula es polar.

A pesar de que los cuatro ejemplos anteriores fueron extraídos de alumnos que cursan el mismo semestre, puede visualizarse la versatilidad en las respuestas en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Posibilidad en las respuestas de los tres instrumentos.

Ejemplo	Cuestionario Escrito	Mapa Conceptual	Entrevista
A	Respuesta Correcta	Manejo sobresaliente de conceptos	Apoya la información anterior
B	Respuesta Incorrecta	Manejo deficiente de conceptos	Información contradictoria y confusa
C	Respuesta Correcta	Manejo deficiente de conceptos	Información contradictoria
D	Respuesta Incorrecta	Manejo sobresaliente de conceptos	Apoya la información del mapa conceptual

Cabe mencionar que los cuatro ejemplo anteriores son representativos para lo que ocurre en cada eje de la investigación, es decir que la mayoría de la información obtenida de los instrumentos puede encontrarse en cualesquiera de las cuatro vertientes antes mencionadas.

**CAPÍTULO 6.
POSIBLES MODELOS MENTALES EN LOS ALUMNOS
RELACIONADOS CON EL TEMA**

6.1 Modelos mentales.

Las siguientes tablas muestran únicamente los modelos mentales obtenidos de los tres instrumentos. En las tablas se muestra el modelo mental y tan sólo una o dos citas en donde el modelo está explícito. Posteriormente en la discusión de los resultados se profundiza más en ellos.

Naturaleza del enlace químico.

Modelo Mental	Ejemplo de idea previa.
<i>El enlace químico como modelo.</i>	<i>"El enlace químico es un modelo que permite explicar la formación de compuestos a través de las interacciones que existen entre los átomos"</i>
<i>El enlace químico como materia.</i>	<i>(Al preguntar por qué el enlace químico es materia) "Si es una entidad física, porque el enlace químico está formado por electrones y el electrón tiene masa, por eso es materia"</i>
<i>El enlace químico como una entidad física.</i>	<i>"Es una fuerza electromagnética por medio de la cual los electrones interactúan" "Es la energía con que se unen los átomos dentro de las moléculas"</i>

Atribuciones del enlace químico.

Modelo Mental	Ejemplo de idea previa.
<i>Modelo de atribuciones macroscópicas.</i>	<i>"El enlace químico se puede usar para mejorar materiales y si quiero separar algún material de alguna aleación, puedo ocupar su enlace" "El enlace químico involucra procesos, sustancias y mediante él, se relaciona la energía para formar nuevos compuestos"</i>
<i>Modelo de atribuciones microscópicas.</i>	<i>"El enlace químico te lleva a entender propiedades físicas y químicas tanto de elementos, compuestos, como por ejemplo las magnéticas, las ópticas, las geométricas"</i>

La unificación del enlace químico.

Modelo Mental	Ejemplo de idea previa.
<i>Modelo de enlace unificado.</i>	<i>"No se puede poner una línea tajante entre las modalidades del enlace químico, lo que sí es posible hacer, es dar cierta preferencia a algunos compuestos"</i>
<i>Modelo de enlaces independientes.</i>	<i>"Las modalidades del enlace químico sí son independientes ya que dependen de la capacidad de combinación entre los átomos"</i>

Naturaleza del enlace covalente.

Modelo Mental	Ejemplo de idea previa.
<i>El modelo eléctrico.</i>	<i>"El enlace covalente es aquel tipo de enlace en donde se comparten pares de electrones"</i>
<i>Modelo metódico – aproximado.</i>	<i>"Para que se dé un enlace covalente, debe haber una diferencia de electronegatividad entre los elementos menor a 1.7"</i> <i>"El enlace covalente es aquel que está regido por la regla del octeto"</i> <i>"El enlace covalente se da cuando se unen dos elementos no metálicos"</i>

Atribuciones de la modalidad covalente del enlace químico.

Modelo Mental	Ejemplo de idea previa.
<i>Modelo de atribuciones macroscópicas.</i>	<i>"Los compuestos covalentes sólo se encuentran como líquidos o gases"</i> <i>"Puntos de fusión bajos"</i> <i>"Son malos conductores de la electricidad"</i>
<i>Modelo de atribuciones microscópicas.</i>	<i>"No siempre tienen estructura cristalina definida"</i> <i>"Sus uniones son fuertes"</i> <i>"Son moléculas diatómicas"</i>

6.2 *Discusión de la propuesta.*

Previo a iniciar la discusión de los resultados que incluyen a los modelos mentales, no está de más recordar que los modelos mentales presentan características como no ser claros, nitidos y elegantes, no ser estructuras mentales precisas, completas y claras, de tal manera que los modelos mentales presentados en este tesis no son la excepción, y a continuación se tratarán de caracterizar.

Los modelos mentales que corresponden a la naturaleza de enlace químico, están centrados en tres componentes: el componente material, el componente teórico y el componente físico, cada uno corresponde a un modelo diferente, tal y como fueron expresados por los alumnos.

El enlace químico como modelo, implica una influencia predominante del componente teórico, en otras palabras, los estudiantes expresan la idea de que el enlace químico es una aproximación empleada para describir las interacciones físicas y químicas que originan el comportamiento de los compuestos químicos.

Sin embargo, algunas concepciones de los alumnos revelan una serie de malas interpretaciones sobre las cualidades de los modelos: según los alumnos, un modelo es una interpretación exacta de lo que es la realidad y que permite explicar y predecir todo fenómeno observable y aún más, atribuyen que todo aquello incapaz de ser percibido por los sentidos, puede ser explicado satisfactoriamente por un modelo.

El enlace químico como materia, es una representación mental basada en la parte material del concepto de enlace químico, cuya atribución, según los alumnos recae en el electrón.

Las ideas usadas con mayor frecuencia para este modelo son conferidas al conocido enunciado de que la materia es todo aquello que ocupa un lugar en el espacio, cuya interpretación está fuertemente arraigada en la mente de los alumnos, al grado de replantearse que todo aquello que ocupa un lugar en el espacio debe tener propiedades plausibles y medibles.

El enlace químico como una entidad física plantea como eje principal el componente físico del enlace químico. En este caso, los alumnos consideran de modo explícito o implícito las interacciones físicas que originan el enlace.

Diferencias entre conceptos como el de energía o fuerza, son en la gran mayoría de las veces inexistentes. Para el alumno que expresa este modelo, no hay diferencias entre las fuerzas que unen a los átomos y las fuerzas que unen a las moléculas.

De los tres modelos anteriores, gran parte del grupo A mostró mayor aceptación por el modelo del *enlace químico como una entidad física*. Mientras que gran parte del grupo B expresó el modelo mental del *enlace químico como modelo*. El modelo de *enlace químico como materia*, presentó mayor adeptos del grupo A que del grupo B.

Las aproximaciones en cuanto a las atribuciones del enlace químico, por parte de los estudiantes, implicaron separar dos tipos de modelos.

El primero de ellos, al que llamo *modelo de atribuciones macroscópicas*, tiene como componente fundamental la inexistencia en los límites de los sentidos para percibir el fenómeno de enlace químico. En otras palabras, el alumno transfiere las propiedades del macro mundo hacia propiedades micro sin que haya algún problema.

Debido a las particularidades que presenta el contexto para este modelo, durante la investigación se evidenció el hecho de que los alumnos tratan de aplicar el enlace químico a sus respectivas carreras, justificándose con situaciones en donde se demuestre, donde ellos manipulen, hagan, separen, disuelvan y en general observen algún cambio para así dar un sentido más real al enlace químico.

Para los estudiantes que poseen este modelo, el salto que dan al tratar de explicar propiedades de sustancias al igual que fuesen moléculas o viceversa, son brincos que no contemplan una base sólida en conceptos.

En el segundo modelo, llamado *modelo de atribuciones microscópicas*, la existencia en la limitación de los sentidos para percibir el enlace químico es evidente.

Los conceptos que manejan los alumnos para este caso, implican una notoria línea que separa lo que ocurre a nivel atómico y molecular y lo que ocurre por ejemplo en un vaso de precipitados que contenga cierta cantidad de una sustancia.

Para este modelo, los alumnos "visualizan" indirectamente, lo que ocurre a nivel atómico y molecular, si la concepción inicial sobre el enlace químico se encuentra en la categoría de la representación mental que tiene como eje principal el componente teórico.

La responsabilidad del párrafo anterior le corresponde, tanto a la labor que hace el docente en el aula, así como los numerosos libros de texto que frecuentemente el alumno consulta.

Son contrastantes las tendencias de los grupos por los modelos anteriores. Gran parte del grupo A presentó el *modelo de atribuciones macroscópicas* como el

de mayor frecuencia, mientras que gran parte del grupo B presentó el *modelo de atribuciones microscópicas*.

Resultan interesantes los modelos correspondientes a la unificación de enlace, ya que los modelos que rigen para este caso, están influenciados notoriamente por el modelo mental que originalmente el alumno posee sobre el enlace químico.

El primer modelo mental al que llamo *modelo de enlace unificado*, se desprende de la concepción de que el enlace químico es un modelo. Como imagen particularizada y simplificada, los estudiantes recuerdan y enuncian el triángulo de van Arkel, y expresan ideas que al parecer han sido asimiladas, tal es el caso, por ejemplo, de que no hay compuesto cien por ciento iónico o covalente, o que en todo compuesto hay mayor predominio por cierta zona del esquema triangular antes mencionado.

Por lo que respecta al segundo modelo mental o también llamado *modelo de enlaces independientes*, los estudiantes manejan ideas muy arraigadas, muchas de ellas producto de la enseñanza previa.

Algunas de las ideas que los alumnos poseen, son ocasionadas por situaciones en el aprendizaje, en donde al estudiante se le induce a aprender reglas mnemotécnicas, como por ejemplo, el cierto número que se obtiene como diferencia entre los valores de las electronegatividades de los átomos que participan en el enlace químico es un buen indicio para saber el tipo de enlace químico o bien el tipo de átomos que participan en el enlace, teniendo un enlace covalente siempre que haya átomos no metálicos.

La existencia de un solo tipo de enlace, para este caso, está lejos de consolidarse, si se considera al enlace químico como materia o como una entidad física.

El *modelo de enlace unificado* fue expuesto con mayor frecuencia para los alumnos del grupo B mientras que para el grupo A el *modelo de enlaces independientes* fue el que mayor número de adeptos tuvo.

Hasta los párrafos anteriores, se ha analizado lo que ocurre en general sobre los modelos mentales que rodean al enlace químico. Los resultados en cuanto a la modalidad covalente del enlace están íntimamente relacionados con lo expuesto hasta ahora. Enseguida se aclarará el panorama.

El *modelo eléctrico* para el enlace covalente, gira en torno a la idea principal de la compartición de electrones por dos átomos. Aunada a la idea anterior, pueden emplearse conceptos para completar el modelo, conceptos tales como la electronegatividad y el tipo de átomo participante. Sin embargo, la idea con mayor peso, expresada por los estudiantes para este modelo, reitero, es la compartición de electrones.

En el modelo metódico – aproximado los estudiantes emplean métodos y aproximaciones, que en algunos casos son de origen matemático, para definir el enlace covalente.

Ejemplo de ello, es la idea de que si la diferencia entre las electronegatividades es de 1.7, se tiene un enlace covalente, o también la idea de que el enlace covalente es el regido por la regla del octeto.

Sin embargo, este modelo no es tomado en cuenta cuando a los alumnos se les pide esquematizar un enlace covalente, ya que la gran mayoría trata de simbolizar, cómo es la compartición de electrones. Para ello emplean representaciones que van desde el modelo atómico de Bohr, el modelo de mecánica cuántica, hasta representaciones puntuales de Lewis.

Cabe mencionar, que hay casos en los que la representación de un enlace covalente es diferente a la que se hace para al caso de un solo átomo, lo que conduce a plantear, que el modelo original del alumno no satisface la premisa de enlace por compartición de electrones.

Otro hecho notorio, es que aquellos estudiantes cuyo modelo mental sobre el enlace químico se basaba en él como materia, representaron con una línea o series de líneas, algo físico que hace que se unan y compartan los electrones.

No se entrará en detalle sobre los modelos mentales que atribuyen propiedades macroscópicas y microscópicas de los compuestos covalentes, ya que básicamente son similares a los modelos mostrados para el enlace químico.

Cualquier modelo que el alumno posea, en cuanto a la modalidad covalente se refiere, va a dar pauta para la generación de los conceptos polaridad y geometría molecular.

Los alumnos capaces de definir al enlace químico como un modelo, no presentan mayor problema en asimilar el concepto de polaridad. El problema radica en las ideas que hay detrás de la polaridad.

De esta forma podemos clasificar las ideas que más prevalecen:

- La polaridad es causada por la presencia de cargas.
- La polaridad es causada por la electronegatividad.
- La polaridad es debida a los átomos participantes.
- La polaridad involucra electrones.
- La polaridad depende de la geometría molecular.

Si bien las ideas anteriores pueden existir como únicas, también puede haber combinación entre dos o más de ellas, generando ideas a las que llamo "híbridas", por ejemplo, "la polaridad es debida a los electrones de los átomos

participantes, si esos átomos tienen muchos electrones libres, la sustancia será más polar”.

De similar manera, es claro que la mayoría de los alumnos comprende el concepto de geometría molecular, pero nuevamente las ideas que originan el concepto son en la mayoría, confusas:

- La geometría depende de la configuración.
- La geometría se sabe si se dibuja la estructura de Lewis correspondiente.
- La geometría se da por los electrones compartidos y no compartidos en la molécula.
- Se puede ver la geometría si se puede ver la hibridación de cada elemento.
- Conociendo el tipo de enlace se llega a saber la geometría.
- La ley de Coulomb sirve para calcular la fuerza entre los átomos y de esa forma se puede saber la geometría.

En general, las ideas expresadas son parte de un proceso complicado, en el que el estudiante ante la necesidad de explicar un hecho, recurre a las ideas que ya poseía previamente, incorporando nuevos conocimientos a una idea errónea.

Sólo dentro del modelo de *atribuciones microscópicas*, se analiza un caso en particular que es de llamar la atención.

Si bien una atribución microscópica de todo compuesto covalente expresada por los alumnos es la incapacidad de conducir la corriente eléctrica, ya sea en estado sólido o en disolución, la prevalencia de ideas previas concernientes al fenómeno de conductividad es evidente.

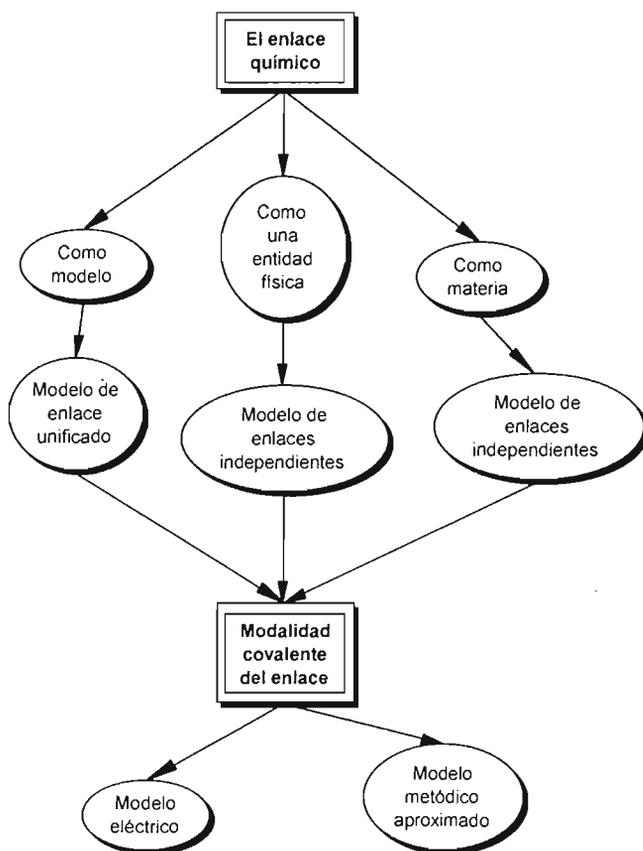
Ideas que justifican la ausencia de conductividad, como el que los enlaces covalentes no se disocian, no son cristales, no forman iones, los enlaces covalentes no tienen cargas, no hay electrones, hablan de la dificultad conceptual asociada con un hecho observable. En este sentido, las explicaciones dadas son inconsistentes, moldeadas por lo que el alumno ha visto y experimentado y en consecuencia la mayoría de ellas son erróneas.

A manera de síntesis, a continuación se presenta un esquema similar a un mapa conceptual, que trata de dar seguimiento a dos casos específicos, cabe mencionar que sería complicado mostrar el seguimiento para cada uno de los alumnos que participó en la tesis, debido a la gran combinación de ideas y modelos.

Un alumno al que llamaré como X, inicialmente mostró ideas que condujeron a la formación del modelo mental sobre el enlace químico basado en materia. Para X la unificación del enlace químico no es posible, dado que no toda materia participante en el enlace químico es igual, por lo que afirma que no es posible hablar de un solo tipo de enlace químico. Estas ideas conducen a que el

modelo para el enlace covalente, se centre en aproximaciones matemáticas, en este caso, al realizar una resta entre las electronegatividades de átomos participantes en el enlace químico.

Otro alumno al que llamo Y, afirmó con todo el peso teórico, que el enlace químico es un modelo, caracterizándolo y expresando todo lo que de este concepto se puede obtener. Este alumno mostró ideas que lo llevaron al modelo de atribuciones macroscópicas. Sin embargo, mostró evidencias que le hicieron concluir que el enlace químico es uno solo y que es posible hablar de predominancia de una modalidad sobre las otras dos. El concepto de enlace covalente fue difícil situar en un modelo, ya que los instrumentos empleados mostraban contradicciones entre sus ideas, pero una de las ideas que fue repetitiva era el hecho de que entre los electrones había una interacción de naturaleza electrostática.



CAPÍTULO 7. RECOMENDACIONES ACADÉMICAS VINCULADAS CON LAS REPERCUSIONES EN EL APRENDIZAJE

Como ya se mencionó en capítulos anteriores, el proceso de aprendizaje es complejo, y son al menos cinco los actores que intervienen en él: el profesor, el que aprende, el currículo, el medio y los materiales. Cada uno de ellos posee, de forma inherente, cierta responsabilidad que debe ser tomada en cuenta en la actividad educativa.

Es obligación del profesor planificar la agenda de las actividades y decidir qué conocimientos deberían tomarse en consideración y en qué orden. Shulman (1986) genera un concepto que domina "Conocimiento pedagógico del contenido". En él incluye, para los tópicos más regularmente enseñados en el área temática del profesor, lo que habilita a un profesor para responder a preguntas tales como: "¿Qué analogías, metáforas, ejemplos, símiles, demostraciones, simulaciones, manipulaciones, o similares, son las formas más efectivas para comunicar los entendimientos apropiados o las actitudes de este concepto a estudiantes con antecedentes particulares?".

El alumno debe optar por aprender; el aprendizaje es una responsabilidad que no puede compartirse.

El currículum comprende los conocimientos, habilidades y valores de la experiencia educativa, que satisfagan criterios de excelencia, de tal modo que los conviertan en algo digno de estudio.

El medio es el contexto en que tiene lugar la experiencia de aprendizaje, e influye en la forma en que el profesor y el estudiante llegan a compartir el significado del currículum.

Los materiales son todos aquellos recursos con que cuenta tanto el profesor como el alumno, contenidos ya sea en bibliotecas, en hemerotecas, en medios electrónicos, etcétera.

Las recomendaciones académicas que a continuación se muestran, están dirigidas a los dos actores principales en el proceso educativo: el profesor y el alumno.

7.1 Dirigidas a profesores.

Todo profesor alguna vez se ha planteado la siguiente pregunta: ¿qué quiero que aprendan mis alumnos?. Esta pregunta conduce a la tarea de plantear o precisar los objetivos que se persiguen con determinado tipo de proceso docente.

Sin embargo, la pregunta anterior puede replantearse como sigue ¿qué nivel de conocimientos pretendo que mis alumnos posean ante tal o cual tema?. En este sentido, podemos hablar de tres niveles en que se divide el aprendizaje.

Primer nivel: Conocer. Este nivel se refiere al conocimiento de cosas, hechos, contenidos, etcétera, sin llegar a una mayor profundización o comprensión de los mismos. El aprendizaje de tipo memorístico se ubica dentro de este nivel.

Segundo nivel: Comprender. Se refiere a un entendimiento profundo de los contenidos o conceptos que se ven en el curso.

Tercer nivel: Manejar. Involucra el manejo de los contenidos, su aplicación en situaciones que pueden ser teóricas y prácticas, e incluso en la propuesta de situaciones que involucren el conocimiento.

Es cierto que todos los aspectos anteriores están comprendidos en el programa de la asignatura que se imparte. Pero también sabemos que lo que ocurre en el aula, dista en muchas ocasiones de lo que está establecido en el esquema general de la asignatura.

Por ello, como primera recomendación académica está el hecho de replantearse objetivos propios que incluyan las ideas previas, su debate, su discusión, su justificación, así como la necesidad de transformarlas en el salón de clases. Esto no quiere decir que se deba pasar por alto a los objetivos ya establecidos para la asignatura correspondiente, sino simplemente mejorarlos atendiendo a la construcción de un aprendizaje significativo.

Algunos aspectos generales, que pueden resultar útiles en el aula para el profesor, se mencionan a continuación:

- Las ideas previas de los estudiantes son construcciones personales que constituyen un parámetro con el que interpretan lo que los profesores explican.
- Las ideas previas son, generalmente, dependientes del contexto en el cual se realiza la clase; sin embargo, pueden ser acomodadas por los estudiantes para otro contexto y el profesor no percatarse de que tal cosa está ocurriendo.
- El profesor debe conocer las principales ideas previas de los alumnos acerca del tema que va a enseñar para que pueda en su clase, desarrollar algunas estrategias didácticas que contribuyan a superarlas.

- Las ideas previas pueden servir de guía, para que el profesor se dé cuenta de la eficacia de su estrategia de enseñanza.
- El profesor no debe esperar una rápida transformación de las ideas previas de los alumnos, basada sólo en sus aclaraciones o explicaciones.
- Es necesario llevar a cabo experimentos e interrogar a los estudiantes acerca de sus interpretaciones, para percatarse de la persistencia o modificación de sus ideas y apoyar su construcción conceptual.
- Es conveniente que el profesor esté atento a los resultados de investigación en este campo para poder interpretar mejor los problemas conceptuales de los estudiantes y desarrollar mejores estrategias de enseñanza.
- Es importante procurar que los estudiantes tomen conciencia de sus ideas previas para que puedan reflexionar sobre ellas y esforzarse por su transformación.
- Es necesario que el profesor lleve a cabo un auto-análisis, se dé cuenta si comparte ideas previas con sus estudiantes y actúe en consecuencia.
- Es importante hacer notar a los alumnos la necesidad de involucrarse en un proceso de construcción conceptual y modificar la actitud receptiva, en la que demandan del profesor la "respuesta correcta".
- Una evaluación continua del progreso de los estudiantes, en función de su comprensión conceptual y posibilidades de inferencia y explicación, puede implicar notables beneficios para la modificación de las ideas previas.

De la descripción anterior se desprende la necesidad de disponer de un repertorio de técnicas y recursos acordes con los hechos planteados.

Las técnicas y recursos que se pueden usar, son tan vastos como la creatividad misma del docente. A continuación se detallan sólo algunos que pueden llegar a ser de gran utilidad.

La motivación. El primer paso para un aprendizaje significativo es lograr que el alumno esté motivado; es decir que posea un interés intrínseco en los contenidos, experiencias de cátedra o discusiones que se den en el aula.

La motivación depende en gran medida de la activación que el profesor logre despertar en sus alumnos por los temas estudiados. Para ellos debe buscarse la manera de activar a los estudiantes planeando bien lo que se va a realizar en un momento dado, escoger cuidadosamente experiencias, problemas o preguntas imaginativas o situaciones que ofrezcan expectativas de algo interesante.

De lo anterior se infiere que una condición esencial de un buen maestro o profesor, es su capacidad imaginativa, su originalidad en el planteamiento de actividades, formas de interrogar que partan del conocimiento previo del educando, integración de la información nueva con la ya conocida, y en especial para cambiar de estrategias cuando percibe que sus estudiantes se empiezan a cansar o aburrir.

Examinadores previos. Se llaman examinadores previos, a todo aquel material cuyo uso introductorio se enfoca a cuestionar a los alumnos acerca de las ideas previas que poseen. En este sentido, el empleo de cuestionarios o preguntas abiertas que no consuman demasiado tiempo y que sean sencillas, son útiles como examinadores previos.

Se recomienda emplear este tipo de recursos, previo a la enseñanza del contenido que se desee investigar.

De esta manera, se puede guiar al aprendizaje durante el desarrollo del curso si se han detectado ideas previas, además de que se puede comparar la evolución de los conocimientos con ayuda de la reexaminación final.

El conflicto. En diversas investigaciones, se ha puesto de manifiesto que el conflicto genera un cambio en las ideas previas de los alumnos porque los alumnos buscan disminuir las situaciones de desacuerdo a favor de la coherencia.

Sin embargo, también se ha indicado que no necesariamente conduce a un cambio y, además, es frecuente encontrar en los alumnos la convivencia de informaciones contradictorias.

Actividades POE (predecir-observar-explicar). En este tipo de actividades, se hace que los alumnos formulen predicciones acerca de determinadas experiencias o demostraciones de cátedra. Se pone especial atención en que los alumnos expliciten las razones en que se basan para sus predicciones. A continuación se desarrolla la experiencia, para que los alumnos contrasten los resultados de la misma con sus predicciones. Por último, los alumnos deben intentar explicar las observaciones realizadas, que muchas veces serán distintas a sus predicciones.

A lo largo del proceso, el profesor debe hacer explícitas las relaciones entre las ideas previas de los alumnos y las teorías que permiten explicar adecuadamente, las observaciones realizadas durante las experiencias.

Por ejemplo, procesos sencillos como agua hirviendo, la disolución de cloruro de sodio y del azúcar, la fusión del hielo y la sublimación del yodo pueden emplearse para investigar lo que piensa el estudiante sobre el enlace químico. Esta actividad se realiza en presencia de los estudiantes y se emplean modelos moleculares, para sondear las ideas acerca de cuáles son los enlaces que se rompen y cuáles los que se forman.

Analogías. Se emplean las analogías cuando se observa que los alumnos pueden presentar algún problema en la comprensión de los conceptos. A menudo, se utilizan al principio, al darse cuenta que los estudiantes no han entendido la explicación inicial. No hay evidencia para afirmar que los docentes planifiquen el uso de las analogías.

Si bien, se acostumbra a utilizar analogías verbales, no son las únicas porque, a menudo, se puede recurrir también a analogías pictóricas. Estos recursos permiten aclarar y enriquecer las relaciones que tratan de establecerse entre el concepto análogo y el concepto diana.

Algunas recomendaciones, en cuanto a analogías se refiere, son las siguientes:

1. Desarrollar un propio repertorio de analogías útiles.
2. Buscar analogías que puedan relacionarse con la experiencia de los alumnos.
3. Evidenciar los atributos que se proyectan entre el análogo y el diana, así como en las limitaciones que existen en la analogía empleada.

Las ventajas en el uso de las analogías, radican en que los sujetos con los que se emplean, alcanzan un nivel de conocimiento significativamente más alto que aquellos con los que no se utilizan.

El uso de analogías antropomórficas para explicar cómo se forman los enlaces debe ser evitado porque le da al estudiante ideas falsas acerca de átomos que "quieren" formar enlaces, o "necesitan" un cierto número de enlaces, o "encontrar una pareja". La analogía auspicia este tipo de ideas previas en los estudiantes; es mucho mejor hacer que ellos piensen en los elementos químicos como sustancias químicas y no como "organismos vivos".

Mapas conceptuales. Son diagramas que indican relaciones entre conceptos, o entre palabras que usamos para representar conceptos. Los mapas conceptuales pueden seguir un modelo jerárquico en el que los conceptos más inclusivos están en el tope de la jerarquía (parte superior del mapa) y los conceptos poco abarcativos están en la base (parte inferior del mapa).

El mapa conceptual es un instrumento capaz de poner en evidencia los significados atribuidos a los conceptos y relaciones entre conceptos en el contexto de una unidad de conocimiento, de una disciplina o de una materia de enseñanza.

Cabe mencionar, que los mapas conceptuales poseen componentes idiosincráticos. Esto significa que no existe un mapa conceptual "correcto". Un profesor nunca debe representar a sus alumnos *el* mapa conceptual de cierto

contenido, sino *un* mapa conceptual para ese contenido. De la misma manera, nunca se debe esperar que el alumno presente *el* mapa conceptual "correcto". Lo que el alumno presenta es su mapa y lo importante de ello es que muestra evidencias de que el alumno está aprendiendo.

Una característica más, es que los mapas conceptuales son dinámicos, es decir están cambiando constantemente en el transcurso del aprendizaje y los mapas trazados hoy, serán diferentes de los trazados mañana.

Breves indicaciones que pueden ser útiles en la construcción de mapas conceptuales se muestran enseguida, sólo que estas indicaciones no deben ser consideradas una "receta" para hacer mapas conceptuales.

1. Identificar los conceptos clave del contenido que se desee mapear.
2. Colocarlos en una lista.
3. Ordenar los conceptos colocando el o los más generales en el tope del mapa y gradualmente colocar los demás hasta completar el mapa.
4. Conectar los conceptos con líneas y rotular las líneas, con una o más palabras clave, que definan la relación entre los conceptos. Los conceptos y las palabras deben formar una proposición explicitando el significado de la relación.
5. Evitar palabras que sólo indiquen relaciones triviales entre conceptos. Hay que buscar relaciones cruzadas y horizontales.

Trabajo en equipo. A lo largo de la vida estudiantil se nos habla acerca de la importancia del trabajo en equipo; sin embargo, no hay curso alguno que prepare para ello, tal vez porque se piensa que aprender a trabajar en equipo es uno de esos aprendizajes que se van dando solos, luego de probar y equivocarse.

La importancia del trabajo en equipo, radica en que se trabaja con una finalidad en común, con un esfuerzo compartido y donde los beneficios serán igualmente repartidos entre todos. Además de que hay un ambiente en donde las ideas son expresadas, compartidas, negociadas y discutidas.

Técnicas poco exitosas consisten por ejemplo, en que todos los integrantes del equipo traten de hacer las mismas cosas y al mismo tiempo o que al tratar de disminuir el tiempo y trabajo, se reparte todo el trabajo desde el inicio y es en el final cuando se compila el trabajo final o la "técnica" de repartirse las tareas que se entregarán a lo largo del semestre entre todos los integrantes.

Una variante del trabajo en equipo es el debate en el aula, en donde los alumnos se hacen conscientes de sus propias ideas y de las ideas de los demás, pues cuando los alumnos comentan, comparan y deciden sobre la utilidad y la

consistencia de las concepciones que se presentan, están explicitando sus criterios de comprensión.

Algunas sugerencias para un óptimo trabajo en equipo son las siguientes:

1. Conocer de dónde se parte y hacia dónde se quiere llegar.
2. Saber qué es lo que se va a hacer.
3. Buscar información general expresando en todo momento las ideas que se tengan.
4. Repartir y desarrollar parte por parte el trabajo.
5. Revisar, discutir y corregir el material aportado por cada integrante.

La negociación. Cuando un profesor adopta el papel de negociante, por ejemplo para decidir cómo se evaluará en el curso, lejos de restarle autoridad, motiva al alumno para involucrarse más en las actividades que se realicen durante el periodo escolar.

7.2 Dirigidas a estudiantes

Una actitud dinámica durante el proceso de aprendizaje, hace necesario formular claramente y en orden de importancia, objetivos de aprendizaje propios. Sin esa formulación, es casi imposible establecer un sistema de autoevaluación objetivo y eficiente.

Si se está convencido de que aprender es valioso, es imprescindible preguntarse ¿qué quiero aprender?, ¿para qué?, ¿por qué?.

Los objetivos que cada quien se forje, no son una meta inalcanzable, sino algo que va ir tomando forma y cuerpo poco a poco. La dimensión ética de la adquisición del conocimiento se encuentra en la siguiente frase:

Cada persona es responsable de lo que aprende.

Aprender a leer. Para un profesionista o cualquier alfabetizado, parecería ridículo sugerirle que aprenda a leer. No obstante, es alarmante el número de alfabetizados que no saben leer, que después de haber leído un examen, artículo o texto, no han comprendido la esencia de lo que se trata de decir.

Una sencilla técnica para aprender a leer es la siguiente:

1. Hojear todo el documento, registrando títulos, subtítulos, tablas, gráficas, etcétera. Su importancia radica en la adquisición de una visión global del

contenido, de la secuencia de la exposición y de las posibles relaciones que se lleguen a encontrar.

2. Formular preguntas (y responder a ellas). De esta manera se ejercita la mente y el pensamiento crítico.
3. Leer activamente. Significa subrayar las palabras clave, emplear asteriscos, signos de admiración o de interrogación, seleccionar y escribir las palabras que no se entiendan y consultar los diccionarios.
4. Resumir en voz alta. Consiste en explicarse a uno mismo o a un grupo lo que se acaba de leer, haciendo hincapié en los puntos esenciales. De esta forma se autoevaluará la capacidad de comprensión y retención, así como la habilidad para expresarse con propias palabras.
5. Repasar. Es imprescindible que de una manera periódica y constante, se dedique un tiempo a re – pensar lo estudiado. No hay que esperar hasta los exámenes para repasar.
6. Revisar la bibliografía sugerida por el docente, no sólo implica leerla, sino también criticarla, así como cualquier escrito que llegue a nuestras manos.

Aprender a escuchar. Para tomar buenas notas ya sea de una conferencia, seminario o clase, es necesario aprender a escuchar.

Escuchar bien requiere, por una parte, concentrarse activamente en lo que se está diciendo y, por otra, evaluar continuamente el contenido de la clase, conferencia o seminario.

Esto conduce a no tratar de apuntar palabra por palabra, sino el sentido y la esencia de lo que se dice, de modo que posteriormente se pueda reconstruir la clase o conferencia con palabras propias.

Aprender a redactar. Es imprescindible aprender a comunicar con efectividad las ideas que poseemos. Para ello es preciso que se organice el pensamiento, lo cual se ve reflejado directamente en la organización y presentación de los escritos.

Algunas sugerencias son:

- Expresar las ideas con originalidad (en una forma novedosa de enfoque).
- Abarcar la mayor variedad posible de autores, ideologías, enfoques teóricos, etcétera.
- Usar correctamente el castellano: la ortografía, la puntuación, la sintaxis, etcétera.
- Cuidar la presentación y el formato de los escritos.

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES

Del estudio presentado en esta tesis, se concluye lo siguiente:

- No cabe duda que la educación es un proceso complejo, en donde tanto profesores como estudiantes, deben interactuar junto con los medios y recursos que les rodean, para promover un desarrollo intelectual óptimo.
- El cambio conceptual es una valiosa aportación, de la década de los ochentas, para promover el aprendizaje significativo y correcto a partir de conocimientos previos.
- Es una realidad el hecho de que los estudiantes poseen ideas sobre cierto fenómeno (por ejemplo el enlace químico), antes de recibir la clase correspondiente. Estas ideas previas, muchas veces difieren del punto de vista de la comunidad científica, además de ser muy resistentes al cambio y no encontrarse aisladas sino formando intrincadas redes conceptuales llamadas modelos mentales. Muchas de ellas resisten la instrucción escolarizada.
- Los modelos mentales poseen dos dificultades inherentes para su estudio: por un lado se encuentran en la cabeza de las personas y por el otro, generalmente son estructuras confusas, mal hechas, incompletas y difusas.
- El empleo de tres instrumentos (cuestionario escrito, mapa conceptual y entrevista), permitió construir y presentar los posibles modelos mentales, que estudiantes de la Facultad de Química poseen sobre el enlace químico y su modalidad covalente.
- De manera general, los modelos mentales que presentan los alumnos de primer semestre (grupo de estudio A), tienen como característica principal estar basados en ideas previas, la gran mayoría de ellas erróneas.
- Un gran número de los modelos mentales que presentan los alumnos de cuarto, quinto y sexto semestre (grupo de estudio B) aún muestran, algunos con mayor predominio que otros, el conocimiento correcto que alcanzaron vía el cambio conceptual. Sin embargo, conforme se avanza en grado escolar, resulta difícil que ese conocimiento perdure si el contexto en el que el alumno se desenvuelve no lo permite.
- La información comprendida en esta tesis, es una herramienta para el profesor que desee conocer algunas de las ideas previas sobre el enlace químico y su modalidad covalente y de los modelos mentales que los alumnos poseen, así como para que pueda en su clase desarrollar algunas estrategias didácticas que contribuyan a superarlas.

- Todos los autores están de acuerdo en que el cambio conceptual es un proceso, largo, complejo y no lineal, que implica avances y retrocesos, y fuertemente determinado por cuestiones emocionales y sociales. Por lo que no se espera que se pueda lograr en un solo periodo lectivo o ciclo escolar.
- La investigación sobre el cambio conceptual no está acabada y como proceso abierto y en marcha, se espera que la información de esta tesis contribuya para futuras investigaciones.

REFERENCIAS

► Bibliográficas.

- Chang, Raymond (1992). **Química**. México. McGraw-Hill.
- Choppin, Gregory, Bernard Jaffe y Lee Summerlin (1985). **Química**. México. Publicaciones Cultural, S. A. de C. V.
- Cruz-Garriz Diana, José A. Chamizo y Andoni Garriz (1987). **Estructura atómica. Un enfoque químico**. Addison-Wesley Iberoamericana. México.
- Delval, Juan (1983). **Creer y pensar. La construcción del conocimiento en la escuela**. Cuadernos de Pedagogía. Editorial Laia. Barcelona.
- Devoré, Gabriel y Eduardo Muñoz (1975). **Química Orgánica**. México. Publicaciones Cultural, S. A. de C. V.
- García, Cruz Arturo (2004). **El curso de las ideas previas en el aprendizaje del enlace químico a nivel licenciatura**. Tesis de licenciatura. F.Q. UNAM.
- Greene, Jay (1970). **100 Grandes científicos**. México. Editorial Diana S. A.
- Kind, Vanessa (2004). **Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química**. México. Coedición Santillana - UNAM.
- Madigan, Michael, John Martinko y Jack Parker (2003). **Biología de los microorganismos**. España. Pearson Prentice Hall.
- Moreira, Marco Antonio (1999). Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias. Texto de apoyo No. 6. **La teoría del aprendizaje significativo**. Burgos.
- Morrison, Robert y Robert Neilson (1986). **Química Orgánica**. México. Fondo Educativo Interamericano.
- Novak, J. D. y D. B. Gowin (1988). **Aprendiendo a aprender**. Barcelona. Martínez – Roca.
- Ponomariov, L (1974). **Alrededor del cuanto**. URSS. Editorial MIR.
- Rodríguez – Moneo, M. (2003). **Conocimiento previo y cambio conceptual**. AIQUE. Buenos Aires – Madrid.

► Hemerográficas.

Bello, Silvia. (2004). **“Ideas previas y cambio conceptual”**. *Educación Química*. México. 15 (3). 210 – 217.

Campanario, J. M. y Moya, A. (1999). **“¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas”**. *Enseñanza de las ciencias*. 17 (2). 179 – 192.

Caravita, S. y Halldén, O. (1994). **“Reframing the problem of conceptual change”**. *Learning and Instruction*. 4. 89 – 111.

Chi, M. y Roscoe R. (2003). **“The processes and challenges of conceptual change”**, en Limón M y Mason L. *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. Kluwer Academic Publishers. 2 – 27.

DiSessa, A. y Sherin, B. (1998). **“What changes in conceptual change?”** *International Journal of Science Education*. 20 (10). 1155 – 1191.

Flores, Fernando. (2004). **“El cambio conceptual: interpretaciones, transformaciones y perspectivas”**. *Educación Química*. México. 15 (3). 256 - 268.

Francisco, J.S, Nakhleh, M.B, Nurrenbern S. y Miller M.L. (2002). **“Assessing student understanding of general chemistry with concept mapping”**. *Journal of Chemical Education*. 79 (2), 248 – 257.

Galagovsky, L. R. (1993). **“Redes conceptuales: base teórica e implicaciones para el proceso de enseñanza aprendizaje de las ciencias”**. *Enseñanza de las ciencias*. 11 (3), 301 – 307.

Gillespie, R. J. (1996). **“Bonding without orbitals”**. *Education in Chemistry*. 33. 103 – 106.

Guevara, S. y Valdez, G. (2004). **“Los modelos en la enseñanza de la Química: algunas de las dificultades asociadas a su enseñanza y a su aprendizaje”**. *Educación Química*. México. 15 (3). 243 – 247.

Gutiérrez, R. y Ogborn, J. (1992). **“A causal framework for analysing alternative conceptions”**. *International Journal of Science Education*. 14 (2), 201 – 220.

Harrison, A. G. y Treagust, D. F. (1996). **“Secondary students mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry”**. *Science Education*. 80 (5), 509 – 534.

Jensen, William B. (1995). "A quantitative van Arkel diagram" *Journal of Chemical Education*. 72 (1). 395 – 396.

Jensen, William B. (1998). "Logic, History and the chemistry textbook. 1. Does chemistry have a logical structure?" *Journal of Chemical Education*. 75 (6). 679 – 686.

Jensen, William B. (1998). "Logic, History and the chemistry textbook. 2. Can we unuddle the chemistry textbook?" *Journal of Chemical Education*. 75 (7). 817 - 828.

Jensen, William B. (1998). "Logic, History and the chemistry textbook. 3. One chemical revolution or three?" *Journal of Chemical Education*. 75 (8). 961 – 969.

Livage, Jaqcques. (1981). "El enlace químico". *Mundo científico*. México. 1(1). 54 – 63.

Logan, S. R. (2001). "The role of Lewis structures in teaching covalent bonding". *Journal of Chemical Education*. 78 (11).1457 – 1458.

Posner, G. J.,Strike, K. A., Hewson, P. W. y Gertzog, W. A., (1982). "Accommodation of scientific conception: Toward a theory of conceptual change". *Science Education*. 66. 211- 227.

Raviolo, A. y Garritz A. (2005). "Decálogos e Inventarios". *Educación Química*. México. 16. 122 - 128.

Robles, J. y Bribiesca L. (2005). "En busca de la piedra filosofal: o ¿debería todo químico moderno saber algo de Alquimia? Parte I: La Alquimia como sistema de pensamiento". *Educación Química*. México. 16. 199 – 207.

Robles, J. y Bribiesca L. (2005). "En busca de la piedra filosofal: o ¿debería todo químico moderno saber algo de Alquimia? Parte II: Historia de la Alquimia como búsqueda de conocimiento y práctica". *Educación Química*. México. 16 (2). 338 – 346.

Rodríguez – Moneo, M. y Aparicio J. (2004). "Los estudios sobre el cambio conceptual y la enseñanza de las ciencias". *Educación Qulmica*. México. 15. 270 -280.

Romero, Laura. (2005). "Buscan superconductores a temperatura ambiente". *Gaceta UNAM*. 3806. 12 - 13.

Shulman, L. S. (1986). "Tose who understand: knowledge growth in teaching". *Educational Researcher* . 15 (2). 4 – 14.

Strike, K. y Posner, G. (1985). "**A conceptual change view of learning and understanding**". En: West, L & Pines, L. (eds). *Cognitive structure and conceptual change*. 211 – 231.

Vosniadou S. (1994). "**Capturing and modeling the process of conceptual change**". *Learning and instruction*. 4. 89 – 111.

► **Electrónicas.**

Flores, F. *et al.* <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048> (Última revisión 4 de noviembre del 2005)

APÉNDICE

Examen Diagnóstico Modalidad Covalente del Enlace Químico

Nombre: _____

Semestre: _____

Carrera: _____

Lee cuidadosamente cada una de las siguientes oraciones. Escribe sobre la línea V si la oración es verdadera; F si la oración es falsa u O si no recuerdas o no sabes.

___ (1) El enlace químico es una entidad física (es materia). **(Generalidades del enlace)**

___ (2) Hay una frontera que permite separar claramente las modalidades de enlace en covalente, iónico y metálico. **(Generalidades del enlace)**

___ (3) En un enlace covalente cada uno de los átomos cede un par de electrones para la formación del enlace. **(Generalidades de la modalidad covalente)**

___ (4) El carbono, el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno y el azufre son los únicos elementos que pueden formar enlaces covalentes. **(Generalidades de la m.c.e.)**

___ (5) Los compuestos covalentes no pueden formar sólidos cristalinos, pero sí los podemos encontrar como gases y líquidos. **(Propiedades de los compuestos covalentes)**

___ (6) Si un compuesto no se disuelve en agua y no conduce la corriente eléctrica, entonces es un compuesto covalente. **(Propiedades de los compuestos covalentes)**

___ (7) Los enlaces covalentes se rompen cuando una sustancia cambia de estado. **(Propiedades de los compuestos covalentes)**

___ (8) La polaridad de una molécula depende únicamente de la diferencia de electronegatividad entre los átomos que forman cada enlace en la molécula. **(Polaridad)**

___ (9) Las moléculas no simétricas con enlaces polares son polares. **(Polaridad)**

___ (10) La forma de una molécula es el resultado de la repulsión de todos los pares de electrones libres y enlazantes. **(Geometría molecular).**

CONSTRUCCIÓN DEL MAPA CONCEPTUAL SOBRE ENLACE QUÍMICO (Modalidad covalente)

A continuación se encuentran algunos conceptos que se relacionan con el enlace covalente. Construye un mapa conceptual conectando los conceptos con líneas y coloca sobre ellas una o más palabras clave que definan su relación.

NOTA: Puedes emplear todos los conceptos o sólo algunos. Inclusive puedes incorporar otros que no se encuentren en la lista.

Conceptos: Enlace covalente, momento dipolar, elemento, moléculas, valencia, átomos, electrones, regla del octeto, electronegatividad, geometría molecular, polaridad, organización tridimensional, propiedades físicas, propiedades químicas, nubes electrónicas, pares libres, simetría.

GUÍA PARA LA ENTREVISTA SOBRE EL ENLACE QUÍMICO

1. ¿Qué es para ti el concepto de enlace químico?
2. ¿Crees que el concepto de enlace químico sea importante para tu formación?
3. ¿Qué modalidades de enlace químico conoces?
4. Esas modalidades ¿son independientes entre sí?
5. ¿Qué es el enlace covalente?
6. ¿Qué propiedades presentan los compuestos covalentes?
7. ¿Cómo puedes saber si una molécula es polar?
8. ¿Cómo puedes saber la geometría de una molécula?
9. Representa / dibuja un átomo
10. En esa representación que hiciste, esquematiza cómo sería un enlace covalente.