



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR
FACULTAD DE QUÍMICA

**EL CONOCIMIENTO PEDAGÓGICO DEL CONTENIDO Y LA ENSEÑANZA DEL
ENLACE QUÍMICO EN PROFESORES DEL CCH**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN DOCENCIA PARA EL NIVEL MEDIO SUPERIOR

PRESENTA:

ANA ISABEL LINCOLN STRANGE CASTRO

TUTORA PRINCIPAL: Dra. Kira Padilla Martínez – Facultad de Química.
COMITÉ TUTOR: Dra. Flor de María Reyes Cárdenas - Facultad de Química
Dr. José Antonio Chamizo Guerrero - Facultad de Química

CUIDAD DE MÉXICO, ABRIL 2018



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.

¡GRACIAS TOTALES!

A mis hermanos: Guille, Carlos, Tere, Rocío y Dulce María.

A mis compañeros de la maestría: Celia, Cristina, José Manuel, Rufino y en particular a Miriam, por su compañía y apoyo en nuestro viaje.

A todos los profesores que conocí durante la realización de este proyecto; por compartir sus conocimientos conmigo.

Especialmente agradezco a la **Dra. Kira Padilla Martinez** por la guía y la paciencia que me brindó en todo momento. Gracias a su apoyo, fue posible no sólo la escritura del presente trabajo sino también mi participación en el **X Congreso en la Enseñanza de las Ciencias** que se realizó del 3 al 7 de septiembre del 2017, en Sevilla, España.

Dedico el presente trabajo:

A mi esposo:

Por hacer tuyos (nuestros) todos mis proyectos,

Por tu apoyo incondicional,

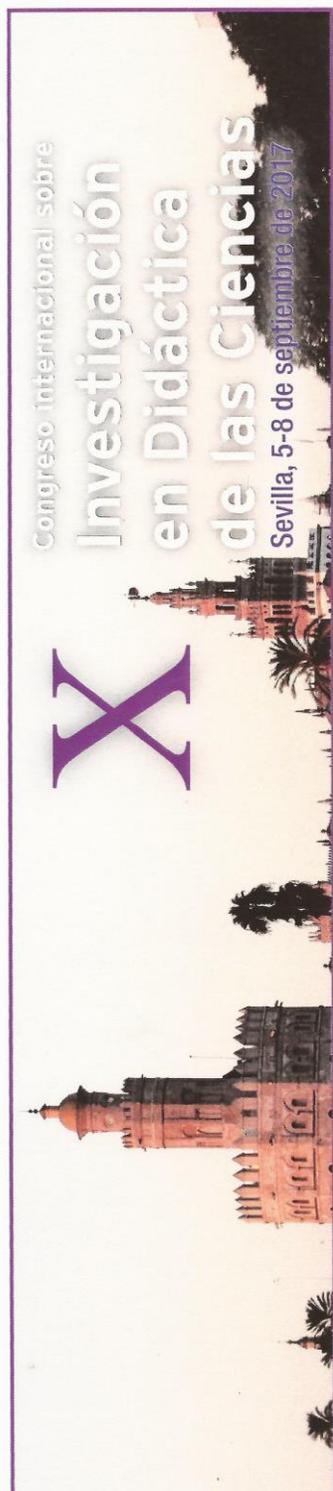
Por tu amor.

A mi mamá:

Por darme los cimientos para vivir a plenitud,

A mi hija:

Por renovar mí fe en la humanidad,



CERTIFICADO DE PRESENTACIÓN DE COMUNICACIÓN

El Comité Ejecutivo del X Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, certifica que la comunicación:

El conocimiento pedagógico del contenido y la enseñanza del enlace químico en el bachillerato. Kira Padilla, Ana Isabel Lincoln Strange Castro.

ha sido presentada en X Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias.
Sevilla, 5-8 de septiembre de 2017



Ana Ma Rivero García

M. Rut Jiménez Liso

Directoras del Congreso



RESUMEN

Dentro de un modelo de enseñanza tradicional el papel del profesor consistía en ser primordialmente un orador, un experto o erudito encargado de transmitir el conocimiento a los estudiantes, que se pensaba, eran una mente en blanco que pasivamente recibía la información. Dicho modelo es duramente criticado en la actualidad, las nuevas demandas de la educación buscan formar alumnos con la capacidad de adaptarse a un cambiante mundo de información. La formación de alumnos con estas habilidades requiere de un modelo de enseñanza centrado en el alumno. Sin embargo, los profesores en activo o en formación no cuentan con las herramientas necesarias para responder a tales exigencias.

Para lograr implementar un programa de formación y actualización docente adecuado a la situación actual, es necesario, comprender la complejidad del pensamiento docente. ¿Qué conocimientos influyen en la planificación de la enseñanza? ¿Cuáles son necesarios para que el profesor resuelva adecuadamente los problemas que se presentan en el aula? ¿Cuáles le permitirían apoyar mejor a sus estudiantes durante el proceso de aprendizaje? La respuesta a estas y otras interrogantes más no es sencilla. El conocimiento pedagógico del contenido (CPC) es actualmente el constructo teórico que permite acercarnos a la comprensión del pensamiento docente y plantear propuestas para la mejora de los programas de actualización y formación docente.

En el presente trabajo se documenta y discute el CPC con el que cuentan dos profesores en activo del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) en relación con uno de los temas que se consideran centrales dentro de la química: el enlace químico.

PALABRAS CLAVE: CPC, enlace químico, pensamiento docente.

ÍNDICE	
RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	9
1. La enseñanza del enlace químico	9
1.1 Ontología atómica y explicaciones antropomórficas	10
1.2 La regla del octeto como el principio explicativo del enlace	13
1.3 El enlace químico entre la dicotomía o la exclusión	14
1. 4 Las concepciones alternativas	16
1. 5 Nuevas propuestas de enseñanza	18
2. Los libros de texto	20
3. Los modelos	26
4. El conocimiento pedagógico del contenido	31
CAPÍTULO II. MARCO METODOLÓGICO	40
2. Contextualización del problema de estudio	40
2.1 Pregunta de investigación:	40
2.1.1 Objetivos:	40
2.1.2 Hipótesis de trabajo:.....	41
2.2 Revisión/Análisis documental de libros de texto.....	41
2.3. Profesores	43
2.3.1 Sujetos de estudio:.....	44
2.3.2 Protocolo Reformado de Observación a la enseñanza o RTOP	45
2.3.3 Análisis de resultados.....	47
CAPÍTULO III. RESULTADOS	51
3. Las entrevistas y el CPC	51
3.1. El caso del profesor Aureliano.....	51
3.2. El caso del profesor Laudelino	62
3.3 Los componentes y subcomponentes del CPC.....	75
3.4 Interconexiones entre los componentes del CPC.....	85
4. La enseñanza del enlace químico	88
4.1 Los libros de texto	88

4.2 La propuesta de enseñanza del profesor Aureliano	93
4.2.1 Analogías antropomórficas	99
4.2.2 Distinción entre redes y moléculas	105
4.2.3. Consideraciones finales	107
4.3 La propuesta de enseñanza del profesor Laudelino.....	108
4.3.1. La regla del octeto	116
4.3.2. La clasificación de las sustancias.....	119
4.3.3. Los modelos	122
4.3.4. Aspectos históricos.....	126
4.3.5 Las narrativas	129
4.3.6. Consideraciones finales	130
5 El protocolo de observación	132
5.1 Información previa	134
5.2. Contexto del salón.....	134
5.3. Diseño e implementación de la lección	135
5.4. Contenido	138
5.4.1. Conocimiento proposicional	138
5.4.2. Conocimiento procedimental	141
5.5. Cultura de clases.....	144
5.5.1 Interacciones comunicativas	144
5.5.2 Relaciones profesor-alumno.....	146
CAPÍTULO IV CONCLUSIONES	149
6. Conclusiones.....	149
7. Perspectivas a futuro.....	151
Anexo I Adaptación del Protocolo de Observación de Enseñanza -RTOP	152
Anexo II. Formato de evaluación de los libros de texto seleccionados	155
8. Bibliografía	172

INTRODUCCIÓN

La planificación y organización de la enseñanza es un proceso altamente demandante en tiempo; el desarrollo de esta habilidad y los conocimientos que lo acompañan difícilmente pueden hacer explícito los profesores más experimentados o considerados exitosos. ¿Qué conocimientos toman en cuenta para la selección de contenidos para la enseñanza de un tema en particular? ¿Cómo logran mantener a sus alumnos motivados? ¿Qué tipo de actividades resultan convenientes y en qué momento se deben aplicar? La respuesta a estas y muchas otras interrogantes no es sencilla, pero el conocimiento pedagógico del contenido (CPC) es un constructo teórico que ayuda en la comprensión del pensamiento docente y los diferentes tipos de conocimientos que lo alimentan; así como sus interacciones. Desde su aparición, se han realizado diferentes esfuerzos por comprender cómo se desarrolla o fortalece; así como el desarrollo de herramientas que permitan documentarlo con éxito. Existen profesores que resultan más eficientes en la enseñanza de un tema y contexto en específico; por lo tanto el CPC depende de estos últimos. En menor medida se ha explorado el papel que juegan las emociones en el mismo.

La importancia de lograr una comprensión adecuada del pensamiento docente, permitiría diseñar e implementar cursos de actualización y formación docente que lograrán tener un mayor impacto en la práctica educativa actual. Este motivo fue, sin duda, una de las principales razones por las que el presente trabajo de tesis está orientado principalmente al estudio del CPC en profesores del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH). El tema de estudio es el enlace químico; el cual es considerado central dentro de la enseñanza de la química.

En el primer capítulo se encuentran detallados los antecedentes teóricos que nos permiten comprender el origen, importancia y fundamentos del CPC. Así mismo se busca delimitar y conocer la forma en la que actualmente se enseña el enlace químico.

El objetivo principal de la tesis es la documentación del CPC, así como la identificación de sus componentes y subcomponentes. Otros objetivos son: la valoración de la práctica docente de cada uno de los profesores participantes

mediante la asistencia a cada una de las sesiones en las que imparten el tema del enlace químico y la revisión y análisis de los libros de texto seleccionados para el mismo tema. La metodología empleada, para alcanzar los objetivos planteados, se describe en el segundo capítulo. En primer lugar, se delimitan las características generales de los profesores participantes, cuya identidad queda en el anonimato; posteriormente las características de las herramientas empleadas, el tipo de datos que se obtendrán y la forma en la que se discutirán los resultados.

Para la evaluación de las sesiones, durante las cuales cada uno de los profesores impartió el tema del enlace químico, se empleó un protocolo de observación (RTOP) que mediante una escala tipo Likert permitió la cuantificación de los resultados obtenidos. También se evaluó cada una de las propuestas de enseñanza tanto de los profesores participantes como de los libros de texto consultados, de esta forma se obtuvo una visión global de la enseñanza del enlace químico en la actualidad; lo cual permite la reflexión y la propuesta de acciones de mejora.

A lo largo del tercer capítulo se presentarán y discutirán cada uno de los resultados obtenidos. Inicialmente se presentan los resultados obtenidos por cada una de las entrevistas, los componentes y subcomponentes que se lograron identificar en cada caso y, a partir de lo declarado por cada profesor, también se delinean, algunas de las características principales de su propuesta de enseñanza. A continuación se presentan los resultados derivados del empleo del RTOP y las posibles relaciones encontradas entre estos datos y los componentes o subcomponentes del CPC discutidos previamente. Por último, se discute la pertinencia de cada una de las propuestas de enseñanza realizadas por los profesores y las coincidencias encontradas entre estos y los libros de texto.

En el último capítulo se presentan las conclusiones y las perspectivas a futuro. Finalmente, en el **Anexo I** se encuentra el protocolo de observación empleado; el formato de evaluación de los libros de textos se localiza en el **Anexo II** y por último las referencias de consulta.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1. La enseñanza del enlace químico

El tema del enlace químico es considerado una idea central dentro de la química (Gilliespie, 1979, Hurst, 2002 y Dhindsa y Treagust, 2014); de su correcta comprensión depende la construcción de otros aprendizajes y el entendimiento de temas como: reacción química o estructura molecular.

Por lo general, el tema se ubica al inicio de los programas del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) y de la Escuela Nacional Preparatoria (ENP); su enseñanza sigue una secuencia de contenidos que normalmente dan prioridad a la descripción de los diferentes modelos de enlace y no a las causas que llevaron a su construcción. De tal forma que, generalmente, en la introducción se menciona la regla del octeto, después se aborda el modelo del enlace iónico, seguido del covalente y se cierra el tema con el estudio de la electronegatividad y la polaridad. En todos los casos se relacionan las propiedades macroscópicas de las sustancias con el enlace, ya sea al inicio del tema o a lo largo del mismo; éstas al igual que la electronegatividad y la polaridad son empleadas como criterios para la clasificación del enlace iónico, covalente o covalente polar. Invariablemente al final de la secuencia mencionada y en algunos casos, se presenta el enlace metálico. En la **Figura 1**, la autora del presente trabajo ha representado esquemáticamente dicha situación.

Dentro de las actividades de laboratorio que cotidianamente se realizan son: la medición de la conductividad eléctrica y la solubilidad en agua, (en algunas ocasiones se mide o se investiga en la literatura el punto de fusión) de varias sustancias prototípicas para confirmar que se trata de un compuesto que presentan las propiedades o características del enlace iónico o el covalente (Nahum *et. al.*, 2010). Algunas otras de las características que actualmente exhibe la enseñanza del enlace y que serán analizadas en el presente trabajo son:

- La ontología atómica y las explicaciones antropomórficas.
- La regla del octeto como el principio explicativo del enlace.
- El enlace químico entre la dicotomía (iónico o covalente) o la exclusión del enlace metálico.
- Las concepciones alternativas relativas al enlace químico.

Lo anterior, con la finalidad de delinear, presentar y contrastar el perfil de la enseñanza tradicional del enlace con nuevas propuestas de enseñanza reportadas en la literatura; enriqueciendo la discusión y reflexión que puedan contribuir a la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje.

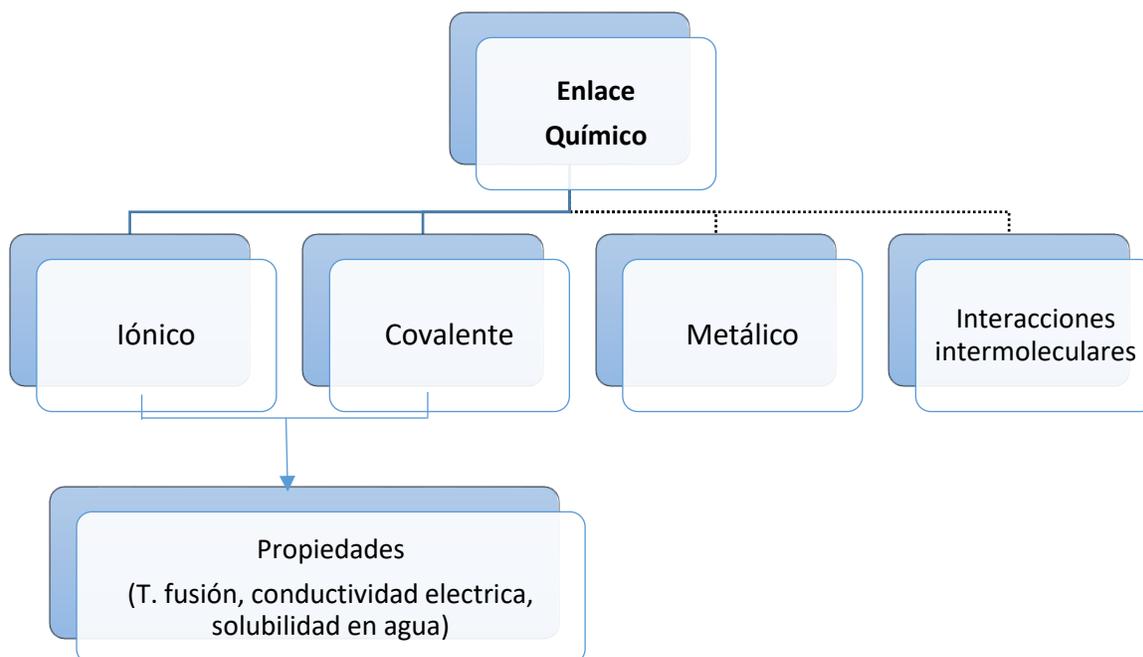


Figura 1. Ilustración esquemática de la propuesta tradicional de enseñanza del enlace químico. Las líneas punteadas representan los tópicos que frecuentemente son omitidos.

1.1 Ontología atómica y explicaciones antropomórficas

En muchas ocasiones durante la introducción de un concepto nuevo o abstracto, los profesores utilizan distintas analogías que sirven de puente entre un

concepto desconocido o idea nueva y el conocimiento ya existente. Algunas ventajas del uso de las analogías son: facilitan la asimilación de la nueva información; proveen una visualización de los conceptos abstractos, ayudan a la comparación del mundo real con el concepto, mejoran la memoria, el desarrollo del pensamiento creativo y tienen un componente motivacional aunque este aspecto ha sido poco estudiado (Raviolo y Garritz, 2007).

Desde la perspectiva constructivista, las analogías podrían ser una herramienta útil para el aprendizaje porque los aspectos similares entre lo nuevo (de naturaleza formal) y lo que ya se conoce (de carácter concreto), permiten la construcción del conocimiento (Nilmara *et. al.*, 2013). Siguiendo esta lógica pueden ser más efectivas con estudiantes cuyo pensamiento o razonamiento abstracto es bajo, pero no así con los alumnos más aventajados (Galagovsky y Audriz-Bravo, 2009).



Figura 2. Relación analógica entre la analogía y el objeto. Adaptada de Harrison y Treagust (2006).

Según Harrison y Treagust, (2006) una analogía consta de dos partes: el objetivo y el análogo, ambas son semejantes o comparten por lo menos algún atributo o aspecto sin perder su identidad; el atributo que comparten puede ser estructural, de función y/o asistir en la explicación del contenido específico u objetivo (ver **Figura 2**). Si la analogía comparte demasiados atributos con el objetivo pueden generar concepciones alternativas, debido a que es probable que los estudiantes transfieran linealmente todas las características del análogo al objetivo (ver **Figura 3, b**). Por lo tanto, es recomendable que el profesor ayude a sus alumnos a

discriminar e identificar el conocimiento preexistente y el nuevo; así como las características que comparten y las que no, el análogo y el objetivo (ver **Figura 3, a**, Harrison y Treagust, 2006).

Un lenguaje cotidiano acompaña a las analogías, si este es indiscriminado y no se sustituye paulatinamente con términos formales, los alumnos tienden a conferirle vida a los átomos, a decir que *necesitan, desean o quieren* electrones y que serán *felices* cuando tengan su última capa con ocho electrones; debido a que las analogías empleadas para la explicación del enlace son *personales*: en ellas toman un rol físico activo o imaginan; que representan ellos mismos un átomo que se une a otro (Taber y Coll, 2002).

En este trabajo se considera que el uso de las analogías en los libros de texto y en el salón de clases puede ser controvertido: ya que es posible que facilite tanto la formación de concepciones alternativas como el aprendizaje. Mientras para algunos alumnos puede ser de utilidad al ayudar a mantener el interés y a relacionar conceptos; para otros simplemente es un distractor más; además no es sencillo determinar si será adecuada para todos los alumnos o si sólo será un gasto editorial (Thiele y Treagust 1991).

Así mismo, un buen profesor debería disponer, entre otras cuestiones, de recursos didácticos variados (analogías, metáforas, ejemplos, ejercicios) en los temas que regularmente enseña, lo que le habilitaría a reconocer las formas, el uso y el momento indicado para emplear dichos recursos al introducir un concepto. A pesar de lo anterior, no existe evidencia que señale que los profesores que emplean o construyen analogías efectivas posean un conocimiento pedagógico del contenido en dicho tópico (Raviolo y Garritz, 2007).

Finalmente, el uso apropiado de las analogías podría contribuir al desarrollo de habilidades de modelaje; a la representación de los modelos científicos enriqueciendo su construcción y significación; ya que al construir una analogía es necesario comprender e interpretar el conocimiento científico (Galagosky y Audriz-Bravo, 2009). Un ejemplo de dicha situación lo encontramos en el modelo atómico de Thomson, que se popularizó al nombrarlo el "*Pudin con pasas*" (Oliva y Aragón, 2009).

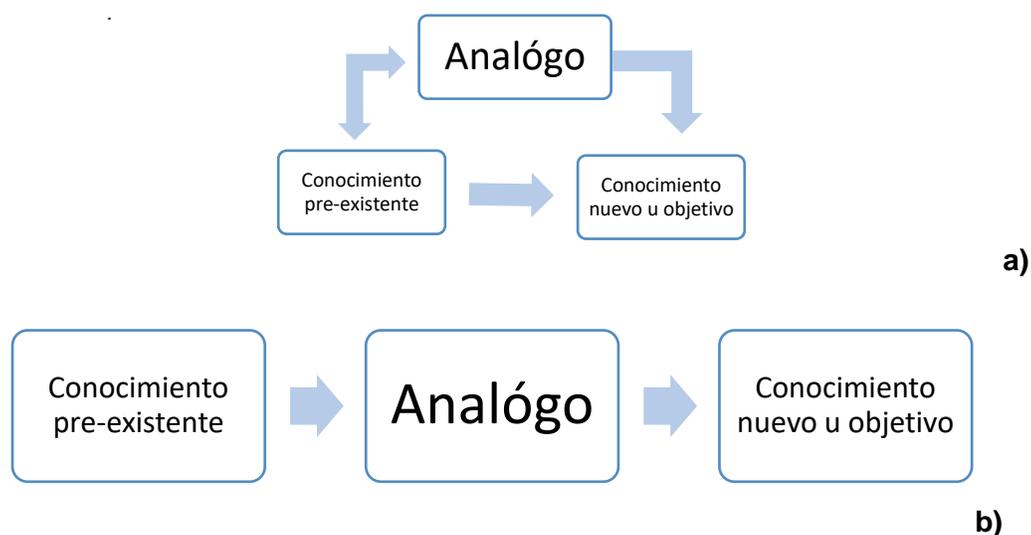


Figura 3 Las analogías y su relación con el conocimiento existente y el nuevo (conocimiento objetivo). a) Efecto deseado y b) efecto indeseado. Adaptada de Thiele y Treagust (1991).

1.2 La regla del octeto como el principio explicativo del enlace

Mayoritariamente los profesores ignoran el desarrollo histórico del octeto de Lewis (ver **Tabla 1**); únicamente lo emplean para la presentación del tema del enlace covalente y/o la construcción de las llamadas “estructuras de Lewis” (Jensen, 1984). En consecuencia, los alumnos piensan que los átomos *desean* tener sus orbitas completas u octetos para que el proceso del enlace pueda ocurrir, porque si ambos átomos cumplen con la regla del octeto entonces se mantienen unidos y estables, si esto no ocurre no pueden explicar la presencia de un enlace (Taber y Coll, 2002). Las excepciones a la regla del octeto: los elementos del período *d* (octeto extendido) o el caso de los elementos ligeros (octeto incompleto), son raramente discutidas.

Durante la presentación del modelo del enlace iónico, se enfatiza que al perder un electrón el átomo de sodio adquiere la configuración electrónica de un gas noble mientras que el átomo de cloro lo recibe para tener así *su* octeto completo. En consecuencia, ocurre la formación del enlace del cloruro de sodio. Sin embargo, esta regla sólo puede ser aplicada a compuestos binarios heteroatómicos de

elementos representativos; limitando el entendimiento del enlace y la construcción de aprendizajes posteriores (Bergqvist *et. al.*, 2013).

Tabla 1. Resumen de los eventos más significativos en el desarrollo de la regla del octeto. Adaptado de Jensen, 1984

<i>Mendeleev 1871:</i>	Enuncia dos reglas sobre periodicidad y valencia, donde el número ocho juega un papel clave.
<i>Abegg 1904:</i>	Interpretación electroquímica de la “regla del ocho” de Mendeleev en términos de ganancia o pérdida de electrones.
<i>Thomson 1904-1907:</i>	Relaciona la periodicidad química en términos de configuraciones electrónicas.
<i>Lewis 1916:</i>	El mecanismo de enlace son los pares de electrones para la formación del octeto
<i>Languimir 1919-1921:</i>	Elaboración y popularización del modelo de Lewis. Formulación matemática de la regla del octeto.

Actualmente, la regla del octeto es empleada para la representación de moléculas sencillas, a las cuales se les denomina las “estructuras o símbolos de Lewis”. Los libros de texto o los profesores enuncian una serie de reglas que sirven de guía para su construcción, dicha actividad sirve para la introducción de conceptos como la resonancia o la geometría molecular, las cuales rara vez son estudiadas en la educación básica y en donde la regla del octeto no les resulta de utilidad (Gayle, 2001).

1.3 El enlace químico entre la dicotomía o la exclusión

La electronegatividad es un concepto ampliamente aceptado, provee una manera rápida e intuitiva de evaluar una serie de características sobre el enlace. En la mayoría de los libros de texto la electronegatividad es empleada para el estudio de compuestos binarios heteroatómicos, relacionándola con el carácter iónico o covalente, (el carácter metálico es ignorado) pero sin abundar en sus limitaciones e implicaciones teóricas (Sproul, 1993).

En 1994(a) Sproul, menciona que los intentos por construir una escala de electronegatividad basada en observaciones cuantificables, tales como: la polarización, el potencial de ionización o la afinidad electrónica, no ha sido posible

por las complicaciones inherentes a estas mediciones y el grado de dependencia entre variables. No obstante, mediante cálculos y otras consideraciones teóricas ha sido posible la asignación de un valor adimensional a cada elemento. Si bien es cierto que la mayoría de los compuestos exhiben un enlace mixto, se ha establecido que si la diferencia de electronegatividad (ΔX) entre dos elementos enlazados se encuentra entre 1.7 y 2 el enlace es predominantemente iónico, mientras que si está entre 1.7 y 0 se considera predominantemente covalente (ver **Tabla 2**). Estudios posteriores demuestran que los estudiantes aprenden esta regla como un factor mágico e incuestionable (Bello, 2008).

Tabla 2 Clasificación de diversos compuestos en iónicos, covalentes y metálicos; según la evaluación de la electronegatividad propuesta por Sproul, 1994^a

Covalentes:	Iónicos	Metálicos: (aleaciones)
CH ₄ , CO ₂ , HCl, NH ₃ , NO, N _x O _y , SiO ₂ , SnCl ₄ y ZnS	CaF ₂ , CaO, CaO ₂ , CsF, MgCl ₂ , NaCl, Na ₂ O, ZnO	AlLi, CdLi, GeP, HgNa, NaIn

En el ámbito escolar, la electronegatividad se ha usado como un criterio importante para la evaluación de los enlaces, si bien es cierto que resulta de utilidad para tal fin, considero que sería más valioso usarlo para introducir a los alumnos en el estudio o conocimiento de los enlaces intermedios. Por lo tanto, es recomendable usar el llamado esquema triangular de enlace o el tetraedro de las sustancias. En él se puede observar claramente que los enlaces covalentes, iónicos, metálicos y semimetálicos son situaciones límite entre los cuales existe una enorme diversidad de modelos intermedios (García y Garritz, 2006 y Sproul, 1994b, ver **Figura 4**).

Según afirman Croft y de Berg (2014), Lewis fue de los primeros en afirmar que los modelos del enlace covalente y el iónico eran insuficientes. Por otra parte, al excluir el enlace metálico y el estudio de las interacciones intermoleculares (¿son sólo interacciones o enlaces?), resulta posible seguir aplicando una serie de reglas y correlaciones sencillas entre la valencia, la composición y las propiedades de una sustancia, para su caracterización, pero se limita la comprensión del enlace químico (Jensen, 2009).

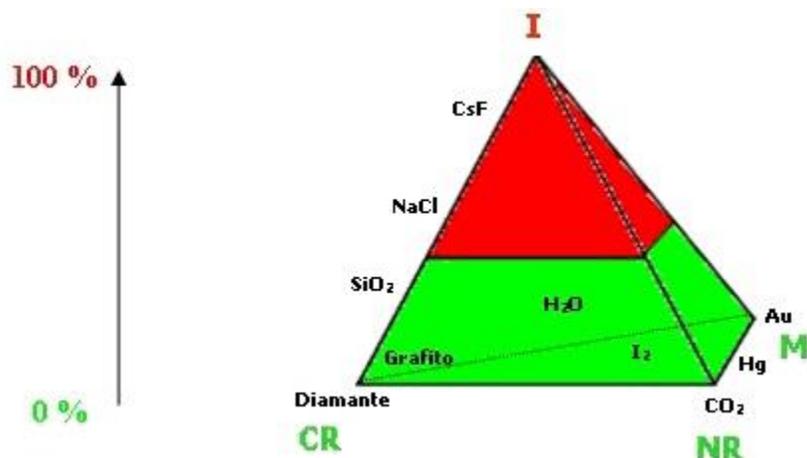


Figura 4 Tetraedro de las sustancias, donde CR=Covalente Reticular, NR= No Reticular, M=Metálico e I=iónico, la flecha a la izquierda indica el carácter del enlace. Tomado de Sosa *et. al.* 2008.

1. 4 Las concepciones alternativas

En este trabajo me referiré a las concepciones alternativas como un concepto o conocimiento que posee un estudiante (o cualquier persona) que no corresponde en su totalidad al conocimiento científicamente aceptado; las cuales pueden tener su origen en un conjunto diverso de experiencias personales, incluyendo la observación directa, la percepción, la cultura, el lenguaje, las explicaciones dadas por el profesor, así como por los materiales didácticos empleados. También se ha observado que estas concepciones se conservan a lo largo de la educación formal, sin importar la edad, el género o la cultura y no es posible erradicarlas con métodos tradicionales de enseñanza (Wandersee *et. al.*, 2002). De manera general se ha observado que los alumnos presentan las siguientes concepciones alternativas y comprensiones respecto al enlace químico: (Tomado de: Taber *et. al.*, 1994, 2002, y Haluk, 2004)

- El enlace tiene una realidad material, tal cual la que se presenta en los diagramas de esferas y palitos.

- Tienen una incorrecta e inapropiada explicación sobre cómo ocurre el enlace químico.
- Todos los enlaces involucran moléculas discretas. Los estudiantes no entienden la naturaleza del enlace iónico, metálico o de las estructuras covalentes gigantes.
- Tienden a descartar como enlace a cualquier cosa que no pueda ser descrita en términos de “electrones compartidos o transferidos”.
- No entienden la existencia de tipos intermedios de enlace.
- Sólo hay dos tipos de enlace el iónico y el covalente, todo lo demás es una *fuerza* no un enlace propiamente.
- El enlace metálico no es propiamente un enlace, los metales tienen un enlace iónico o covalente en su *interior*. Algunos tienen noción del modelo del mar de electrones, aunque sólo lo describen no lo pueden explicar o relacionar con las propiedades de los metales.
- La electronegatividad comprende la atracción de un electrón solitario.

Como ya se ha mencionado los alumnos en todo el mundo sin importar su género, edad o cultura, presentan concepciones alternativas similares en el tema de enlace. En México también se han realizado estudios al respecto a nivel preparatoria y licenciatura, un estudio realizado en el 2006 por García y Garritz, indica que el 60 % de los alumnos mexicanos entre los 15 y 16 años de edad, sólo reconocen dos tipos de enlace como verdaderos: los covalentes y los iónicos, afirman que la razón por la que los átomos se unen para formar sustancias es para ser estables de acuerdo con la regla del octeto, utilizan términos antropomórficos, creen que los compuestos iónicos están formados de moléculas y no entienden adecuadamente la estructura interna de los metales o la naturaleza de las fuerzas intermoleculares.

En el caso del enlace químico se ha observado que las concepciones alternativas surgen dentro del salón de clases, por lo que se debe tener un cuidado especial en el manejo del lenguaje, enfatizar el nivel de abstracción del que se habla (macroscópico, microscópico o simbólico), relacionar al enlace con otros temas y

hablar de las limitaciones que tienen los modelos de enlace; más allá de la exposición de las características de cada uno de ellos (Dhindasa y Treagust, 2014).

1. 5 Nuevas propuestas de enseñanza

Existen esfuerzos por desarrollar una explicación electrostática que permita ubicar a todos los tipos de enlace en un mismo marco conceptual, el cual, podría resultar útil en cursos introductorios. La ley de Coulomb, el núcleo atómico y los electrones, son algunos de los conceptos empleados en la construcción de estas propuestas. Hay quienes afirman que el desarrollo de este marco teórico tiene un mayor potencial predictivo que la regla del octeto (García y Garritz, 2006 y Taber *et. al.*, 2002), debido a la naturaleza electrostática del enlace.

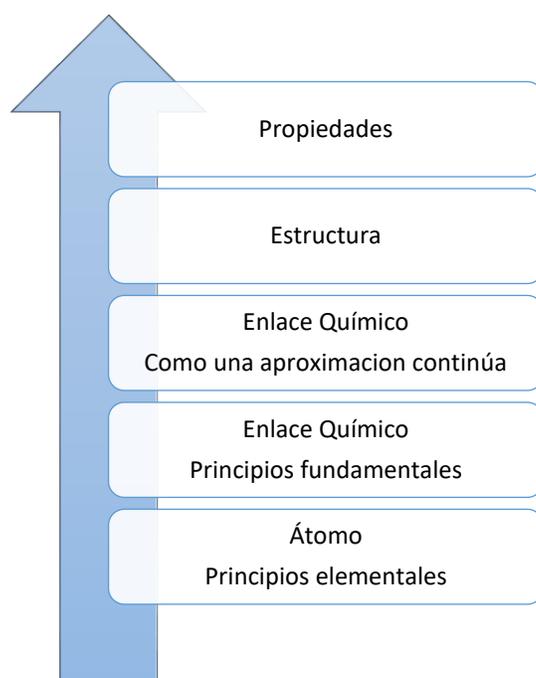


Figura 5. Adaptación de la ilustración esquemática de la propuesta de enseñanza del enlace químico por Nahum *et. al.* (2010).

En los años 2008 y 2010 Nahum *et. al.*, (ver **Figura 5**) publican y detallan una propuesta basada en las ideas expuestas anteriormente. Si bien la ley de Coulomb es la parte medular de la secuencia, el punto de partida es el estudio del átomo y

los denominados *principios elementales* entre ellos: la naturaleza ondulatoria de los electrones, los orbitales y los electrones de valencia. La secuencia continúa con el estudio de lo que los autores denominan los principios fundamentales del enlace químico: la energía y la estabilidad. La introducción de la fuerza del enlace permite que se estudien las estructuras químicas y las propiedades que las acompañan a los diversos modelos de enlace, comenzando con el más “débil” (Nahum *et. al.*, 2008).

Los autores reconocen que *la Ley de Coulomb si bien es limitada (porque la mecánica cuántica nos brinda una mejor explicación del electrón orbitando al núcleo) nos permite desarrollar el concepto de “fuerza de enlace” criterio con el cual se construye una aproximación continua al enlace químico. Se estima que por dicha razón, es insuficiente justificar la enseñanza del enlace mediante el uso de la ley de Coulomb, ya que al profundizar en el estudio del tema es necesario abandonar esta aproximación por los fundamentos de la mecánica cuántica, los cuales sólo pueden ser reconciliados a través de la elaboración de un modelo híbrido donde se mezclan dichas aproximaciones irreconciliables entre sí. Adicionalmente, dentro de este marco teórico es difícil la introducción de conceptos como la electronegatividad o el estudio de las interacciones moleculares y el uso de la llamada “fuerza de enlace” puede contribuir a la persistencia de la concepción alternativa de que existen enlaces más “fuertes” que otros.*

En contraparte Sosa *et. al.* (2008), proponen una secuencia en la que su objetivo principal es entender las interacciones eléctricas de sus partículas a partir de las propiedades macroscópicas de las sustancias, es decir que los alumnos *modelen* dicha interacción (ver, **Figura 6**). En ella se trabaja con alrededor de 18 sustancias prestando atención en tres de sus propiedades: (si bien se discute brevemente un número mayor de ellas) la temperatura de fusión, la solubilidad en agua y la conductividad eléctrica. Los alumnos deben clasificarlas y con la ayuda de una serie de preguntas guía explicar su decisión. Al modelar las relaciones entre las propiedades de los compuestos, la estructura química y el enlace, los alumnos construyen explicaciones multicausales que les permiten transitar de un tipo de

enlace a otro y/o entender las interacciones intermoleculares (García y Garritz, 2006; Peterson, 1989).

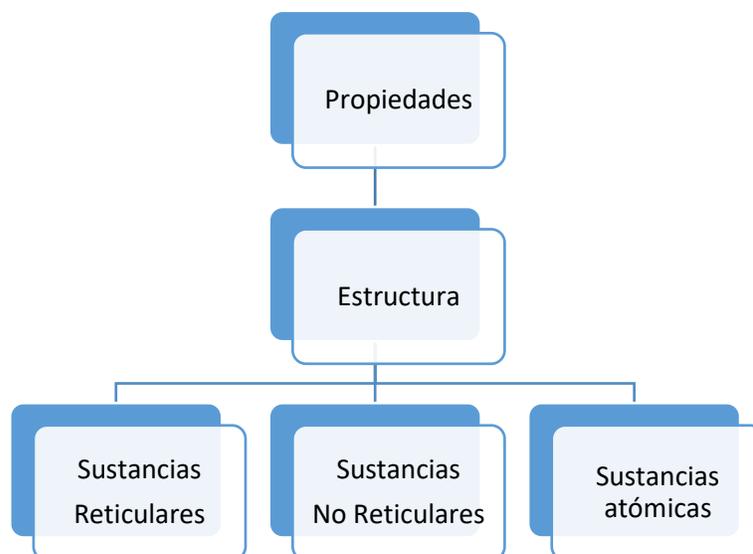


Figura 6. Ilustración esquemática de la secuencia de enseñanza propuesta por Sosa *et. al.*, 2008.

Lo anterior, debe motivar la reflexión entre los profesores y los investigadores, ¿Cuáles son los conceptos centrales relacionados al enlace? ¿Cómo pueden ser interpretados y representados para facilitar la comprensión del enlace y su complejidad? Para dar respuesta a estas interrogantes es necesario entender que el enlace es un concepto que por sí mismo favorece el desarrollo de las habilidades de modelización en los alumnos al ser la conexión entre el mundo macroscópico las propiedades de las sustancias y el microscópico las distintas estructuras químicas, según lo señalan distintos autores (Ünal *et. al.*, 2006; García, Garritz y Chamizo, 2008; Sosa *et. al.*, 2008).

2. Los libros de texto

En las ciencias naturales, los libros de texto juegan un papel determinante en el proceso de enseñanza-aprendizaje; algunas de sus características son:

- Presentación de una gran diversidad de temas como una sucesión de hechos verdaderos e inmutables.
- Enseñanza y aplicación de un único algoritmo de resolución de problemas.
- Ausencia del desarrollo histórico de las teorías y/o conceptos clave; en algunos casos es sustituida por una breve reseña biográfica de los científicos destacados en el área.

Los libros de texto empleados por los estudiantes de química exhiben estas características. Su temario abarca una gran variedad de temas desde la metrología hasta la química cuántica y todos son tratados de la misma manera, aunque en diversos grados de profundidad. Favoreciendo que los estudiantes sean *adiestrados* dentro de una tradición científica, es decir, que su pensamiento sea convergente, que su visión del mundo sea congruente con el paradigma¹ existente en su comunidad científica, son (los libros de texto) una guía de su práctica profesional (Kuhn, 1997).

¿Cómo podemos explicar este fenómeno? Según Thomas S. Kuhn, el avance de la ciencia se da a través de la sucesión de tradiciones científicas. Durante el llamado período de *ciencia normal* los científicos se encuentran adiestrados dentro de una tradición científica que desarrollan a plenitud, cuando ésta se agota, surge una *crisis*, luego entonces los científicos buscan alternativas (período llamado de *ciencia revolucionaria*) que finalmente los conduce a la adopción de una nueva tradición científica (Kneller, 2009).

El sistema educativo debe ser compatible con el trabajo científico, de esta manera se garantiza que todos los individuos de una comunidad científica trabajen de manera convergente. Según lo anterior, podemos observar el papel fundamental

¹Kuhn, empezó a llamar las ideas de una tradición científica “paradigma”, este término puede incluir varios aspectos como: las teorías, los instrumentos, datos, problemas y soluciones, que se pueden emplear, así como las ideas y la visión del mundo que los científicos emplean durante un periodo de ciencia normal, pero nunca lo definió, posteriormente introduce la llamada “matriz disciplinaria”, que consiste de cuatro elementos: generalizaciones simbólicas, supuestos metafísicos, valores y soluciones a problemas concretos. (Kneller, pág. 12).

que tienen los libros de texto en los períodos de ciencia normal, estos sólo se reescriben después de una crisis, cada revolución necesita que *su* paradigma se desarrolle a plenitud.

El paradigma determina qué tipo de problemas se investigan, cómo resolverlos, qué datos se consideran pertinentes, así como los instrumentos y técnicas de investigación que se pueden emplear. En este sentido, los libros de texto describen adecuadamente el funcionamiento de los instrumentos y procedimientos más importantes en el quehacer científico, pero también presentan a los problemas como si fueran parte de una rutina, en la que sólo es necesario aplicar el método adecuado para su resolución (ver **Figura 7**).

Ejemplo 2.1

Indique el número de protones, neutrones y electrones para cada una de las siguientes especies: a) $^{20}_{11}\text{Na}$ b) $^{22}_{11}\text{Na}$ c) ^{17}O y d) carbono 14.

Estrategia Recuerde que el exponente se refiere al número de masa (A), y el subíndice al número atómico (Z). El número de masa siempre es mayor que el número atómico. (La única excepción es H, donde el número de masa es igual al número atómico). En caso de que no se muestre el subíndice, como en los incisos c) y d), el número atómico se puede derivar del símbolo o nombre del elemento. Para determinar el número de electrones, recuerde que como la electricidad de los átomos es neutra, el número de electrones es igual al número de protones.

Solución a) El número atómico es 11; luego hay 11 protones. El número de masa es 20; por tanto, el número de electrones es $20-11=9$. El número de electrones es el mismo que el número de protones, es decir, 11. [...]

Ejercicio de práctica: ¿Cuántos protones, electrones y neutrones tiene el isótopo de cobre: ^{63}Cu ?

Figura 7. Ejemplo de la resolución de un problema en un libro de texto de química utilizado en el nivel superior. (Referencia al cálculo de protones, neutrones, electrones, en isotopos, Capítulo 2, Chang, página 24, 1999).

Es común que todos los problemas de un tema dado son tratados de la misma manera, al final del capítulo se presentan ejercicios de *integración o especiales*, los cuales promueven mínimamente el pensamiento divergente² ya que

²Kuhn consideraba al pensamiento divergente como “la libertad de partir en direcciones diferentes rechazando la solución antigua y tomando una dirección nueva”, pag. 249. La tensión esencial, CFE. 1993, España.

puede existir más de un método para su resolución o es necesario la aplicación de varios métodos de resolución para llegar al resultado (ver **Figura 8**). Lo anterior, sin duda, favorece que la práctica laboral esté encaminada al desarrollo y aplicación una teoría dentro del mayor número de áreas posibles.

2.102 Un ion monoatómico tiene una carga de +2. El núcleo del átomo del que se deriva tiene un número de masa de 55. Si el número de neutrones en el núcleo es 1.2 veces el número de protones, ¿cuál será el nombre y símbolo del elemento?

Figura 8. Ejemplo de los llamados ejercicios de integración o problemas especiales en un libro de texto de química utilizado en el nivel superior. (Referencia al Capítulo 2: *Átomos, moléculas y iones*, Chang, 1999, página 49).

En los últimos años el desarrollo de la ciencia ha conducido a dos tipos de práctica científica: la llamada *gran ciencia* y la *pequeña ciencia* (Richards, 2009). La gran ciencia requiere de un gigantesco número de científicos, que puedan trabajar en equipos internacionales en el desarrollo de un proyecto de interés global³; los miembros de este tipo de proyectos deben trabajar de manera conjunta y convergente en la resolución de un problema específico, este tipo de ciencia requiere sin duda de científicos adiestrados muy especializados, que trabajen de manera *anónima*.

En contraparte la pequeña ciencia es desarrollada principalmente en un ambiente académico con un presupuesto limitado, requiere de científicos con una base sólida de conocimientos teóricos, con un pensamiento divergente capaz de encontrar diversas soluciones a un problema, de plantearse preguntas, de buscar, de crear alternativas. La formación de este tipo de individuos es difícil considerando el sistema educativo actual donde no sólo los libros de texto limitan el desarrollo de un pensamiento divergente, sino que también la evaluación educativa que privilegia las respuestas, no las preguntas. A pesar de esto, se cree que dentro de la pequeña ciencia es donde se darán los mayores avances científicos (Richards, 2009).

³ Por ejemplo: el proyecto del genoma humano.

Por otra parte, los libros de texto son el reflejo la disociación existente entre: la formación académica y la práctica profesional, la investigación y la aplicación tecnológica, entre la relación de la química con la sociedad y su pasado histórico. Una práctica común es la inclusión de una reseña de alguna aplicación científica durante la lectura de un capítulo, haciendo una breve descripción del contexto del descubrimiento y/o de su impacto en la sociedad. Por ejemplo:

- a) El proceso Haber, en algunos libros se hace una descripción del proceso como resultado del ingenio, del dominio de la teoría que poseía Fritz Haber; así como de sus ideales políticos-ideológicos e intereses económicos de su época, finalmente se mencionan las consecuencias positivas y negativas de la aplicación de este proceso en el desarrollo de la historia de la humanidad (Brown, 2009, pág. 631), en la mayoría se omite esta discusión (Chang, 2011, págs. 354-355).
- b) Los fullerenos o el buckybalón, son tratados como una curiosidad de laboratorio que posee potenciales aplicaciones en varias áreas del conocimiento humano. El tema es relacionado con la alotropía y la química del carbono (Brown, 2009, pág. 468), en otros casos con el enlace y la nanotecnología (Chang, 2011, pág. 294).

De cualquier forma, las aplicaciones tecnológicas (al igual que las contribuciones al desarrollo de una teoría o los descubrimientos científicos) son presentadas como el resultado de una mente brillante, de un momento *eureka*, no se plantea que el desarrollo del conocimiento es producto de un constructo social que tiene un carácter contextual en la cultura, la política y la economía; favoreciendo así la percepción social de que el trabajo científico ocurre de manera aislada de la sociedad y de sus intereses (Cetina, K, 2005).

En su libro *Tratado Elemental de Química* Lavoisier, hace un llamado a la comunidad científica para olvidarse de su pasado alquímico con el objetivo de que los principiantes en su estudio se adaptarán al uso de un lenguaje universal que

permitiría la comunicación y el avance de la química como ciencia. Efectivamente el impacto de estas palabras favoreció la consolidación de la química, pero también contribuyó a su enseñanza ahistórica, al descuido de la formación humana de los estudiantes de química, los cuales no reflexionan sobre su papel dentro de la sociedad ni se responsabilizan de los resultados de su práctica (Nieto, 2010).

En cuanto a la presentación del tema del enlace químico, son pocos los textos que adoptan una visión unitaria del enlace, los alumnos tienen la idea de que los modelos de enlace químico son explicaciones alternativas, sólo aplicables, cada uno de ellos, a un tipo de sustancia, es decir, que no tienen elementos en común (García, 2006). Diversos análisis de los libros de texto, han observado que algunos de ellos contienen concepciones alternativas y/o consideran que los alumnos tienen el conocimiento previo necesario para un aprendizaje elevado (Ünal *et. al.*, 2006).

En conclusión, podemos decir que los libros de texto son parte fundamental en el método de enseñanza de la química; la forma en la que presentan los temas, las teorías, los instrumentos, los problemas y el quehacer científico, repercuten directamente en la formación y la práctica diaria de los químicos; mientras que las demandas del mundo actual le exigen al individuo que se mantenga crítico, que sea innovador. ¿Cómo puede fomentarse el pensamiento divergente si tanto los libros de texto como el diseño de los cursos presentan al conocimiento científico como acabado?

Si como Kuhn (1970) afirma, los grandes avances de la ciencia son el resultado de la tensión esencial entre los miembros de una comunidad científica fuertemente comprometida con una tradición científica vigente y el pensamiento divergente de algunos individuos, como pueden ser los “investigadores-profesores” (Richards, 2009), entonces la educación debe favorecer que existan estos dos tipos de pensamientos: el *convergente*: el nivel óptimo de simplificación de los conocimientos científicos, el de la metodología y disciplina y el *divergente*: el de las preguntas, el de la planeación y formulación de soluciones alternativas.

Es necesario que se cuestione, dentro de la comunidad académica, no sólo la forma en la que los libros de texto presentan y manejan la información, también se requiere que se escriban según los temas centrales de la química, ya que existe

una disociación o enmascaramiento entre lo que se enseña en los libros y cursos y los recursos con los que los químicos trabajan en su quehacer profesional, tema que queda fuera de la discusión de este texto pero que se debe investigar (Talanquer, 2010). De los encargados de la educación en la química depende que los libros de texto sean empleados como una herramienta en la formación de los estudiantes o que sigan siendo un obstáculo epistemológico que limita la investigación e innovación científica.

3. Los modelos

Si bien es cierto que los modelos son usados en todas las disciplinas científicas (Gilbert, 1991), estos juegan un papel determinante dentro del estudio de la química; debido a su carácter inherentemente representacional o simbólico; por lo tanto, para su enseñanza es fundamental el uso de los modelos (Barke *et. al.*, 2012). Si uno de los propósitos de la enseñanza en ciencias es la enculturación en las prácticas científicas, entonces se debe de enseñar las características e importancia de los modelos, así como su construcción a los alumnos (Kaberman, 2009).

¿Qué se entiende por modelo en la ciencia? Los modelos son representaciones, que se construyen contextualizando cierta porción del mundo, con un objetivo específico. Una representación puede ser una idea, objeto, evento, fenómeno, proceso o sistema construido en un tiempo y lugar históricamente definido (Chamizo, 2010b). Debido a la complejidad inherente del mundo, las representaciones en sí mismas son parciales; en consecuencia los modelos también lo son; por lo cual, es indispensable su continua revisión y mejora; es decir, los modelos son representaciones *dinámicas* de nuestro entendimiento (Coll y Lajium, 2011). Entonces, en el presente trabajo, un modelo será definido haciendo una reinterpretación personal, pero muy cercana, a la definición dada por Chamizo (2010c):

(un modelo es...) Una representación dinámica contextualizada de cierta porción del mundo con un objetivo específico.

En la práctica científica los modelos juegan un papel determinante y contribuyen, entre otros aspectos, a: la generación de nuevo conocimiento, al desarrollo de una teoría existente, la exposición de un fenómeno, la formulación y evaluación de modelos a favor y en contra de una hipótesis en particular. Incluso un modelo puede ser en sí mismo una herramienta cognitiva o el objeto de la investigación (ver **Tabla 3**, Van Der Valk, Van Driel y De Vos, 2007).

Es común, que si no aparecen nuevos datos experimentales o no se comparten sus presupuestos, puedan existir varios modelos para la explicación de un mismo fenómeno, en cuyo caso se escoge el que posea más sencillez, riqueza teórica y/o poder explicativo, antes que incluir, descartar o reemplazar uno u otro. Instrumentalmente puede usarse el modelo viejo cuando constituye una aproximación sencilla y legítima de un problema científico; por ejemplo la mecánica clásica y la cuántica (Galagovsky y Audriz-Bravo, 2011).

Tabla 3. Algunas características de los modelos en la práctica científica actual, adaptado de Van Der Valk, Van Driel y De Vos, 2007

- Evaluación de datos
 - Construcción del modelo
 - Descripción del fenómeno
 - Evaluación de modelos alternativos
 - Formulación y evaluación de hipótesis y predicciones
 - Aplicación, refinación o evaluación del modelo existente
-

Algunos criterios para clasificar los modelos son: su naturaleza (mental o material), propósito (matemático) o contexto (didáctico o científico, ver, **Tabla 4**). En cualquier caso, los modelos son consensuados por comunidades diferentes en un momento histórico específico (Chamizo, 2010b).

Son de interés particular para el presente trabajo los modelos didácticos. Estos son elaborados dentro de la ciencia escolar para facilitar el entendimiento de los estudiantes del conocimiento científico, pero sin perder rigor o abstracción. El

manejo de modelos didácticos en la enseñanza de la ciencia posibilita la simplificación de entidades complejas contribuyendo a su visualización y abstracción, además es fundamental para la interpretación de experimentos y en la comunicación de ideas (Chamizo, 2013). Lamentablemente es una práctica común combinar libremente un sin número de modelos didácticos, instrumentos, representaciones y otros recursos; presentándolos como si constituyeran un todo coherente (Justi y Gilbert, 1999) como verdades incuestionables y descontextualizadas (Galagovsky y Audriz-Bravo, 2009), favoreciendo la generación de concepciones alternativas y de una comprensión científica simplificada. A los modelos descritos anteriormente se les denomina híbridos.

Tabla 4. Algunos tipos de modelos empleados en la ciencia y sus características.
Adaptado de Chamizo, 2010 (b).

Modelo	Característica	Propósito u objetivo
Mental	Son descartables, pueden contener concepciones alternativas o ideas previas.	Construidos individualmente para explicar, dilucidar ó predecir una situación.
Material	Incluye cosas concretas, pueden ser prototipos de modelos mentales	Comunicarse a otros individuos. Por ejemplo: modelos moleculares.
Matemático	Ecuaciones, signos, diagramas, gráficas u objetos tridimensionales.	Describir precisamente una porción del mundo.
Didáctico	Elaborados en el entorno escolar. Reconstrucción del conocimiento científico.	Facilitar el aprendizaje científico sin perder rigurosidad o abstracción.
Científico	Construidos por la comunidad científica para la investigación.	Predecir, establecer, constatar, explicar, una porción del mundo.

Como consecuencia de la incorporación de los modelos al ámbito educativo, es imperativo la enseñanza de habilidades de modelización. Si bien es cierto que no existen métodos ni algoritmos para aprender a modelar, si podemos describir este proceso de manera general. En la **Figura 9**, se ha representado este proceso de modelización tomando en cuenta las principales aportaciones que se encuentran en la literatura y que se describen más adelante. El proceso de modelización, inicia a partir del planteamiento de una pregunta sobre el mundo real, no todas las preguntas pueden ser contestadas ni para hacerlo se requiere la elaboración de un modelo. Sin embargo; si se busca que los estudiantes sean aprendices activos y

pensadores independientes las preguntas que se generen deben tener la forma adecuada y ser la atención que guie su pensamiento (Kaberman, 2009).

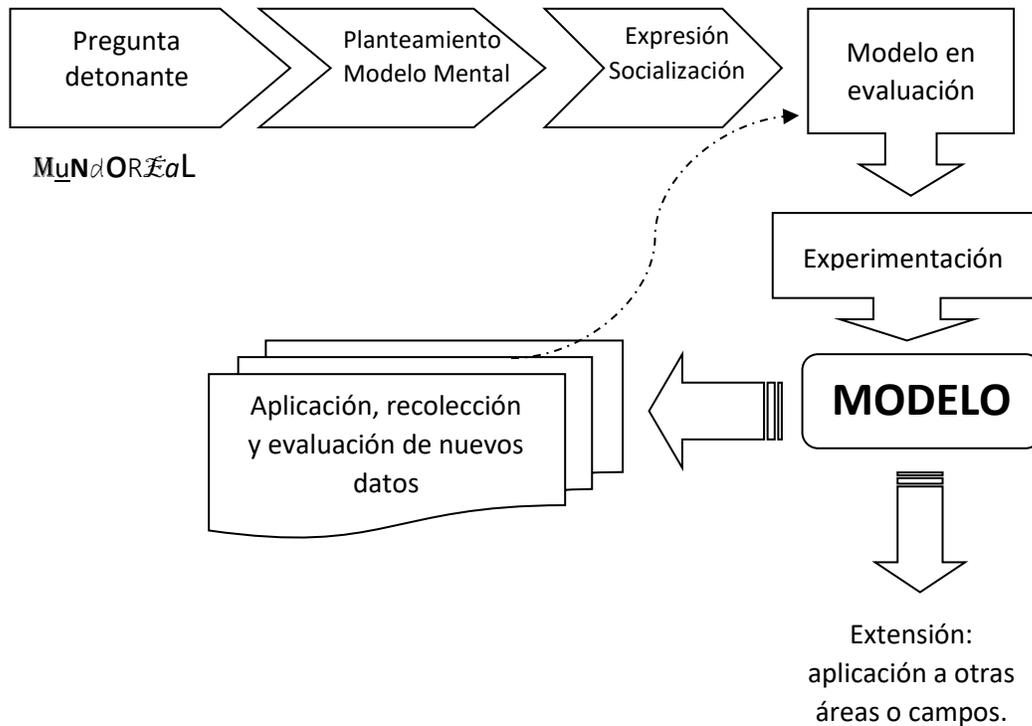


Figura 9. Ilustración esquemática del proceso de modelización. Adaptado de Van Driel, *et. al* (2007), Barke *et. al.* (2012) y Coll y Lajium (2011).

Según Barke *et. al.* (2012), de la suma del conocimiento existente sobre el objetivo (una idea, objeto, evento, fenómeno, proceso o sistema), la creatividad y la imaginación del sujeto, surge un primer modelo mental; que da una respuesta parcial a la pregunta detonante. Este modelo mental incluye lo más característico y relevante según un contexto dado para la simplificación del objetivo, facilitando su comprensión y estudio. Es indispensable ignorar muchos de los componentes del objetivo, debido a su complejidad, a su irrelevancia, propósito o simplemente para evitar distracciones. Al expresar el modelo mental socializándolo o construyendo un modelo material y/o matemático, es oportuno someterlo a experimentación. La recolección y evaluación constante de los datos, de las características del modelo, el contraste entre éste y el mundo real y la conducta del objetivo indican lo “correcto” del modelo; pero su aceptación o rechazo depende de su propósito. Este proceso

es iterativo hasta obtener una versión final del modelo material (ver **Figura 9**, Van Der Valk, Van Driel y De Vos, 2007).

Mayoritariamente se acepta más fácilmente a un modelo que tiene una buena correlación o que predice los datos experimentales, esto no quiere decir que los modelos cualitativos sean descartados automáticamente. Dentro de este supuesto, pueden ser de utilidad los llamados experimentos mentales. Según Gilbert (2000), un experimento mental (EM) es aquel que ocurre en la mente de los individuos, con el propósito de lograr los mismos objetivos que un experimento (predecir, establecer, constatar o aplicar la teoría, ver **Tabla 5**) sin tener que ejecutarlo, no tienen el problema de la reproducibilidad, el costo o que no sea posible realizarlo en la actualidad. Incluso en la práctica científica los EM pueden ser concebidos no sólo como una herramienta del modelo sino detonar su propio desarrollo. En el ámbito escolar, el profesor puede crear un EM basado en situaciones que puedan ser imaginadas por los estudiantes, lo cual les lleve a desarrollar un mejor entendimiento de conceptos abstractos, explorar hipótesis o identificar nuevas posibilidades. Si se socializan sus resultados pueden facilitar el cambio conceptual.

Tabla 5. Adaptación de las categorías de experimentos mentales descritos por Gilbert, 2000

Categoría	Sub-categoría	Propósito
Destructivo	--	Exponer debilidades teóricas.
Constructivo	Meditativo	Trazar deducciones desde la teoría
	Conjetura	Establecer y teorizar un fenómeno
Platónico	--	Desarrollo teórico

Si el modelo es aceptado, de su aplicación surge la posible explicación de la pregunta detonante. De acuerdo al objetivo planteado se evalúa la extensión del modelo a otras porciones del mundo. El proceso de modelización descrito anteriormente puede ser simplificado para fines educativos. Justi y Gilbert (2003) afirman que los profesores en formación deberían incrementar su entendimiento en los modelos y el modelaje (CPC); porque aunque posean una genuina apreciación

del valor de los modelos deben poder manifestarlo en sus clases y estar conscientes de qué se trata del desarrollo de una habilidad no de un contenido.

Es una práctica científica común usar más de un modelo para describir una entidad o explicar un fenómeno según diferentes propósitos o contextos; el caso del enlace químico es uno de ellos. Los alumnos tienen la idea de que los modelos de enlace químico son explicaciones alternativas, sólo aplicables cada uno de ellos a un tipo de sustancia en particular, es decir no tienen elementos en común; ya que abordan cada uno de los modelos de enlace como descripciones reales y concretas más que como aproximaciones, sin decir que cuentan con limitaciones inherentes (García y Garritz, 2006). Incluso encuentran difícil interpretar los diferentes modelos o pasar de una a otro; por ejemplo: pasar de un modelo de barras y esferas a la escritura de su fórmula (Kaberman, 2009). Es importante, que desarrollen habilidades de modelización, pero que a su vez se discutan y comprendan las limitaciones de cada modelo empleado (Coll y Lajumin, 2011).

4. El conocimiento pedagógico del contenido

En el año de 1986 durante una conferencia en Texas, Shulman introduce el llamado “paradigma perdido de la educación”: el conocimiento pedagógico del contenido o CPC por sus siglas. El CPC es definido como todo esfuerzo que hace un profesor por hacer comprensible un tema ante sus estudiantes; lo cual requiere necesariamente de la reorganización e interpretación de su conocimiento disciplinar.

Uno de los efectos más importantes de la introducción del CPC en la investigación educativa es que ayudó a equilibrar la atención entre la pedagogía y el contenido, dentro del ámbito de la investigación educativa. Además del reconocimiento de la complejidad del CPC, se busca conocer sus fuentes y las interacciones que surgen entre ellas y no pueden ser separados; es un esfuerzo por desarrollar un modelo o teoría sobre el pensamiento docente (Gess-Newsome, 1999).

Tabla 6 Componentes y subcomponentes del CPC, propuestos por Magnusson *et. al.* (1999)

Componente	Aspectos generales
A. <i>Orientación hacia la enseñanza de la ciencia</i>	Guía la toma de decisiones relativas a los objetivos, la evaluación, el uso de materiales, por ejemplo: libros de texto, la planificación, promulgación y reflexión sobre la enseñanza y el aprendizaje. Tiene fuerte influencia en los componentes D y E.
B. <i>Conocimiento del curriculum científico</i>	Permite la articulación entre las metas y los objetivos que sirven de directriz para la enseñanza de los temas. Articulación del conocimiento del programa y los materiales que son relevantes para la enseñanza de un tema específico.
C. <i>Conocimiento del entendimiento científico de los estudiantes</i>	Ayuda a los estudiantes a desarrollar un conocimiento científico en específico. Conocimiento de las dificultades y habilidades necesarias para el desarrollo del pensamiento científico, incluye a las concepciones alternativas y el pensamiento detrás de ellas.
D. <i>Conocimiento de la evaluación en ciencias</i>	Evaluación del entendimiento conceptual, de la naturaleza de la ciencia y el pensamiento científico; de las ventajas y desventajas de un método en particular y de lo apropiado de su aplicación. Actualmente se favorecen los “productos generados por los estudiantes”: reportes de laboratorio, uso de modelos o documentos multimedia.
E. <i>Conocimiento de las estrategias instruccionales</i>	Existen dos categorías: representaciones (ilustraciones, ejemplos modelos y/o analogías) y actividades (ejemplos, problemas, demostraciones, simulaciones, investigaciones o experimentos), las cuales no son mutuamente excluyentes entre sí.

Desde que Shulman planteó la primera definición de CPC, se han realizado diversos estudios para caracterizarlo y establecer las relaciones entre el CPC y otros tipos de conocimientos como el disciplinar. Una primera clasificación de los diferentes dominios que conforman el CPC, fue realizada por Grossman. En 1999, esta propuesta es retomada y adaptada por Magnusson *et al.*; de acuerdo con estos autores el CPC está conformado por cinco componentes (ver **Tabla 6**), que de forma conjunta con la experiencia, alimentan iterativamente el desarrollo del CPC. Como afirman los autores, es difícil determinar estas categorías y evaluarlas, ya que la planeación de la enseñanza es resultado de una compleja actividad mental en la

que se aplican múltiples dominios de conocimiento con el objetivo de ayudar a los estudiantes a desarrollar y entender el conocimiento científico.

Para que un profesor aplique nuevas estrategias depende no sólo de que los conozca, sino de que aumente su conocimiento de otros dominios del CPC. Pasar de un modelo de enseñanza tradicional a uno de cambio conceptual, es posible sin instrucción; pero el cambio puede deberse a un incremento en el conocimiento disciplinar y/o del entendimiento del pensamiento de sus estudiantes. Es decir, se necesita por lo menos un incremento en tres dominios: el conocimiento disciplinar, pedagógico y del contexto, pero también es un acto intencional, porque significa reconstruir su entendimiento (Gess-Newsome, 1999).

El conocimiento disciplinar y el CPC son dependientes uno del otro, pero al parecer se necesita una cantidad crítica de conocimiento disciplinar para desarrollar el CPC; por lo tanto, es de vital importancia incluir el conocimiento disciplinar en los cursos para formación de profesores y realizar a su vez, los cambios pertinentes en el curriculum. Es importante recordar que el desarrollo del CPC es más que la adición de conocimientos o estrategias pedagógicas; es un constructo o proceso mental que permite planear y organizar efectivamente sus clases a profesores competentes o expertos.

En la propuesta de Magnusson *et. al.* (1999) cada componente es a su vez dividido en diferentes subcomponentes. Padilla y Van Driel (2011), discuten y asignan un código a cada uno de los subcomponentes propuestos por Magnusson (ver **Tabla 7**).

Tabla 7 Adaptación de los componentes y subcomponentes del CPC, propuestos por Padilla y Van Driel (2011).		
A) Orientación hacia la enseñanza de la ciencia		
Orientación	Código	Definición
Proceso	A1	El profesor introduce a los estudiantes en el proceso de pensamiento empujado por los científicos.
Rigor académico	A2	Los estudiantes son retados con problemas y actividades difíciles; donde se muestra una relación entre los conceptos y el fenómeno.
Didáctica	A3	El profesor presenta información a través de una lectura, discusión o pregunta guía.
Cambio conceptual	A4	Los estudiantes son presionados a ver o considerar soluciones alternativas.
Actividades dirigidas	A5	Los estudiantes participan en actividades para la verificación o el descubrimiento.
B) Conocimiento del currículum científico		
Conocimiento de los objetivos y las metas de enseñanza	B1	Objetivos de enseñanza en la asignatura.
	B2	Objetivos y directrices de la enseñanza.
Conocimiento del currículum específico	B3	Conocimiento que los estudiantes adquirieron en cursos previos o que deben saber en cursos posteriores.
	B4	Conocimiento del currículum y de los materiales relacionados a la asignatura.
C) Conocimiento del entendimiento científico de los estudiantes		
Conocimiento de los requerimientos para el aprendizaje.	C1	Prerrequisitos, habilidades y herramientas necesarias para aprender el concepto y concepciones alternativas.
Conocimientos de las dificultades del estudiante	C2	Variaciones en las aproximaciones o visiones de los estudiantes.
	C3	Conceptos científicos que los estudiantes encuentran difíciles, abstractos o contra intuitivos.
Creencias acerca de lo que los estudiantes saben, o no, o de cómo aprenden	C4	Creencias del profesor acerca de lo que los estudiantes saben o no, o de lo que los estudiantes deberían aprender.
D) Conocimiento de la evaluación en ciencias		
Conocimiento de las dimensiones a evaluar del aprendizaje científico	D1	Conceptos que son o no importantes de evaluar.
Conocimiento de los métodos de evaluación	D2	Estrategias de enseñanza que los profesores usan para evaluar el entendimiento de los estudiantes y que consideran que no son buenas.
E) Conocimiento de las estrategias instruccionales		
Conocimiento de las estrategias específicas en la asignatura	E1	Estrategias generales y que son usadas en más de una asignatura.
Conocimientos de las estrategias específicas del tópico	E2	Representaciones específicas para el tema (ilustraciones, ejemplos, modelos y analogías).
	E3	Actividades específicas para el tema (problemas, demostraciones, simulaciones o experimentos).

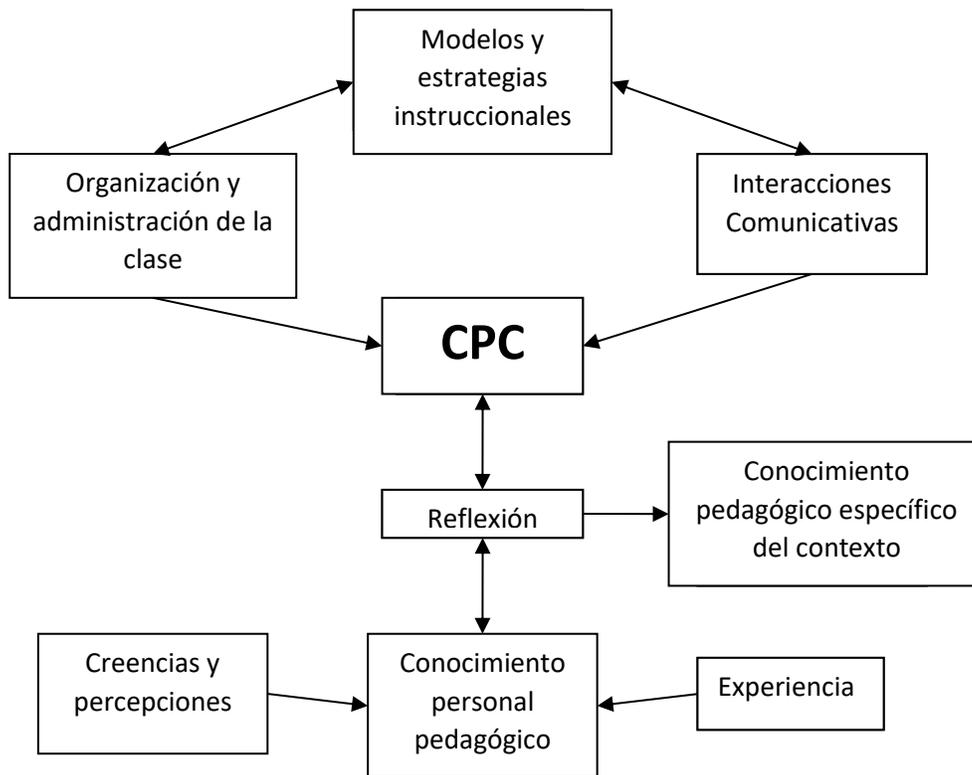


Figura 10. Facetas del conocimiento pedagógico. Adaptada de Morine-Dersheimer y Kent, (1999).

Los autores Morine-Dersheimer y Kent, (1999, ver **Figura 10**) nos relatan las características y contribuciones del conocimiento pedagógico general al desarrollo del CPC:

a) *Organización y administración del aula:* Los autores reportan que los alumnos tienen mayor éxito si los profesores dedican más tiempo a realizar actividades guiadas en las que tienen un alto grado de participación, responsabilidad y retroalimentación. Adicionalmente, estos profesores previenen problemas al considerar el conocimiento previo y el fortalecimiento o desarrollo de habilidades necesarias para el aprendizaje de nuevos contenidos. Finalmente, la motivación externa positiva y el monitoreo constante también son características que acompañan a estos profesores exitosos.

b) *Estrategias y modelos instruccionales.* Hay que tener presente que la estructura organizacional del sistema educativo o de la filosofía de un colegio

afectan las posibles alternativas y el desarrollo del CPC. Es importante que los profesores reflexionen sobre el contenido y propósito de la instrucción, esto alimenta el CPC de forma productiva. Los profesores experimentados y reflexivos tienen una gran flexibilidad y logran adaptar diferentes procedimientos para lograr los objetivos educativos; logran, por ejemplo: reorganizar los diferentes materiales encontrados en los libros de texto o típicamente usados junto con material adicional. Así mismo, tienen más conocimiento de que tipo de actividades emplear y en qué momento incluirlas.

c) *Interacciones comunicativas en la clase.* Debemos entender al salón de clases como un ambiente comunicativo, en donde todas las interacciones cara-cara ya sea entre los alumnos y el profesor o entre alumno-alumno son gobernadas por el desarrollo de las reglas y expectativas planteadas por el profesor. Todos los actores tienen experiencia previa que comparten e interactúan en la clase, todas son igual importancia aunque se desarrollan en diferentes contextos y niveles.

En un salón de clase con una comunicación sana, las reglas y expectativas del profesor son claras, aunque estén implícitas. Si el lenguaje empleado por el profesor es muy elevado y su discurso no parece natural los resultados, por lo general serán negativos. Dentro del complejo sistema de comunicaciones en el aula, también se encuentran la incorporación de tareas, la participación, las metas y cualquier otra actividad que ocurra en el aula, entender esta complicada relación puede ayudar a los profesores a gobernar y dirigir mejor las expectativas y las reglas de dichas interacciones. En este sentido, los profesores exitosos implementan tareas académicas adecuadas, las demostraciones o actividades de laboratorio donde exploran conceptos son seguras, manejan el material adecuadamente, se trabaja cooperativamente y se discuten los resultados. Para el caso de los profesores en formación se recomienda que trabajen en situaciones controladas, donde puedan documentar y compartir sus resultados con otros, ayudando así no sólo a su carrera profesional sino también al desarrollo de la investigación educativa.

El conocimiento con el que cuentan los profesores es difícil de caracterizar y por lo tanto excepcionalmente difícil de articular y documentar; una de las razones porque esto ocurre, se puede deber a las demandas de tiempo, el currículo y el logro

estudiantil que ponen énfasis en lo que el profesor hace antes que explicar su comportamiento a través de su articulación con el razonamiento pedagógico. Además los profesores son inconscientes del conocimiento que poseen, que este es contextualizado y está asociado con estudiantes, eventos y aulas específicas; ya que el CPC es dependiente del contexto (Loughran *et. al.*, 2004).

Tabla 8. Reproducción de las preguntas del CoRe de Loughran et al. y su relación con los componentes del CPC de Magnusson *et al.* Adaptado de Padilla (2014).

Pregunta CoRe Loughran et al. (2004)	Componentes de CPC Magnusson et al. (1999)
1. ¿Qué intentas que los estudiantes aprendan con esta idea?	Orientaciones, conocimientos y creencias sobre el currículo científico.
2. ¿Por qué es importante para los estudiantes conocer esto?	Orientaciones, conocimientos y creencias sobre el currículo científico.
3. ¿Qué más sabes sobre esta idea que no enseñes a tus estudiantes?	Orientaciones
4. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas con la enseñanza de esta idea?	Conocimientos y creencias sobre la comprensión de los estudiantes
5. ¿Cuál es el conocimiento sobre el pensamiento de los estudiantes que influye en tu enseñanza sobre esta idea?	Conocimientos y creencias sobre la comprensión de los estudiantes
6. ¿Hay algunos otros factores que influyan en tu enseñanza sobre esta idea?	Orientaciones
7. ¿Cuáles son los procedimientos de enseñanza (y las razones particulares para usarlo y enganchar a esta idea)?	Conocimiento y creencias sobre estrategias de enseñanza Conocimiento y creencias sobre el currículo científico
8. ¿Cuáles son las evaluaciones específicas que utilizas para la confusión o comprensión de esta idea?	Conocimientos y creencias sobre la evaluación

En el 2008, Loughran *et. al.*, desarrollaron y presentaron dos herramientas que permiten la documentación del CPC: el CoRe y los Pap-eRs. En ambos casos, se busca que los profesores hagan explícito el CPC con el que cuentan, ayudando a la planeación de la enseñanza y a la formación de profesores novatos. El CoRe y los Pap-eRs (por sus siglas en inglés: *Representación del Contenido y Repertorio de la Experiencia Profesional y Pedagógica*), proveen una manera de hacer explícito el CPC de los profesores, donde se refleja su pensamiento acerca de su práctica educativa. Los Pap-eRs se caracterizan por ayudar a la reflexión de la práctica

docente y por proveer una “ventana” dentro de la cual nos informan de la efectividad de una práctica exitosa en el aula.

A través del CoRe, se pueden manifestar y entender algunos aspectos del CPC; es una herramienta de investigación para entender el contenido y a la vez la representación de éste, permitiendo codificarlo y categorizarlo (ver **Tabla 8**). Los Pap-eRs complementan al CoRe porque permiten entenderlo dentro de un contexto en particular e ilustrar aspectos del CPC en acción, pero por si solos no son suficientes. El CoRe está basado en la explicación de las grandes ideas que articulan un contenido en particular, mientras que los Pap-eRs ofrecen ventanas en las que se explican y representan estas ideas de diferentes formas, pero no tienen un formato particular o estilo. Estas herramientas no buscan ser exhaustivas o determinantes, recordemos que reflejan la complejidad del CPC y que deben emplearse como una aproximación holística.

Según Garritz y Mellado (2014), otro aspecto que influye fuertemente en el comportamiento docente, pero que ha sido poco estudiado, son las emociones. Estas afectan especialmente a los profesores novatos “detrás de las reacciones afectivas de los docentes, tanto en su trabajo como en el contexto en el que se lleva a cabo, se encuentra la estrecha identificación personal de los docentes con su profesión” (Garritz y Mellado, 2014, pág. 231). Se requiere extender las concepciones actuales del CPC, pero para que la dimensión emocional sea reconocida adecuadamente, tiene que estar asociada con tópicos disciplinarios. Un esfuerzo por investigar estas cuestiones, se reporta en Padilla y Van Driel (2012), quien adiciona componentes al CPC relativos a las emociones:

- *Sentimientos y actitudes de los profesores acerca de su propia manera de enseñar.* Los cuales, se conforman desde la infancia y son resultado de las experiencias personales en el proceso de aprendizaje; por lo tanto es muy difícil cambiar estas percepciones. Dentro de ellas, la imagen que más prevalece es la del profesor como un experto, un dispensador de la información, en donde los alumnos dependen totalmente de él. En contraparte, los profesores más exitosos se comportan como una guía o un

facilitador, al analizar sus ideas y creencias sobre la enseñanza, logran transformarlas en algo tácito que pueden reevaluar.

- *Emociones acerca del contenido que enseñan.* Shulman, reconoció durante una entrevista que “si un profesor no cuenta con entendimiento y una afectividad real por el tema, nunca será capaz de enseñarlo bien”, (2007, tomado de Berry, Loughran y van Driel, 2008, pág. 1275-1276) si bien aún no hay suficientes investigaciones al respecto.
- *Conocimiento relativo a la actitud que los estudiantes adoptan al aprender el tópico específico.* Las emociones afectan tanto al profesor como a los alumnos durante el proceso de aprendizaje, si ellos tienen emociones negativas al respecto les resultara más difícil aprender.

El CPC puede no sólo ser un constructo académico aceptable, sino un marco donde los profesores desarrollen y compartan su sabiduría en un tema específico de su práctica de maneras significativas y que a su vez permitan el desarrollo profesional de otros profesores de ciencias que impacte en su conocimiento y práctica.

Los profesores de ciencias por lo general cuentan con una fuerte formación disciplinaria pero no así en pedagogía, según Talanquer (2004) la formación del profesorado debería incluir conceptos, teorías, historia y filosofía de la ciencia, mientras que la preparación pedagógica: temas o conceptos como diseño curricular. Así mismo recomienda que los profesores: identifiquen ideas centrales, reconozcan las dificultades conceptuales, cuestionen las ideas previas, experimentos, proyectos o problemas que permitan explorar conceptos centrales, la construcción de explicaciones, analogías o metáforas que faciliten la comprensión de conceptos y el diseño de actividades que permitan la aplicación de lo aprendido.

CAPÍTULO II. MARCO METODOLÓGICO

2. Contextualización del problema de estudio

En la actualidad, las nuevas demandas de la educación buscan formar alumnos con la capacidad de adaptarse a un cambiante mundo de información; por lo que la formación de alumnos debe ayudarles al desarrollo de habilidades que les permitan satisfacer dichas demandas. Sin embargo, los profesores en activo o en formación no cuentan con las herramientas necesarias para responder a tales exigencias.

Para lograr implementar un programa de formación y actualización docente adecuado a la situación actual, es necesario, comprender la complejidad del pensamiento docente. Si el conocimiento pedagógico del contenido (CPC) es actualmente el constructo teórico que permite acercarnos a la comprensión del pensamiento docente, entonces a partir de su estudio se pueden plantear propuestas para la mejora de los programas de actualización y formación docente.

2.1 Pregunta de investigación:

- ¿Cuál es el conocimiento pedagógico del contenido (CPC) con el que cuentan dos profesores en activo del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) en relación al tema del enlace químico y como se refleja en su práctica docente?

2.1.1 Objetivos:

- Determinar el CPC sus componentes y subcomponentes, en relación al tema del enlace químico de dos profesores en activo del CCH.
- Mediante la asistencia y observación al número de sesiones en las que impartieron el tema, valorar la práctica docente de cada caso.

- Realizar una revisión documental para analizar el discurso de los libros de texto empleados por los profesores participantes en relación al tema del enlace químico.

2.1.2 Hipótesis de trabajo:

En los profesores del CCH, los componentes del CPC en el tema de enlace y las relaciones que existen entre ellos (página **32**, del **Capítulo I**. Marco Teórico): la instrucción, la evaluación, el currículo y el aprendizaje de los estudiantes, estarán fuertemente relacionados con un modelo constructivista de enseñanza acorde con la filosofía de enseñanza del CCH.

2.2 Revisión/Análisis documental de libros de texto

Parte de los objetivos del presente trabajo de tesis incluyen la valoración de la propuesta de enseñanza del enlace químico de los profesores participantes. Sin embargo, se encuentra reportado en la literatura que tanto los libros de texto como los programas de estudio pueden influir en el diseño e implementación de la secuencia de enseñanza, como fue manifestado por uno de los profesores participantes. Por lo tanto, se decidió realizar un análisis documental de libros de texto, la selección de la muestra, la metodología empleada y el análisis de los resultados obtenidos se discuten a continuación.

Muestra. En la **Tabla 9** se encuentran los datos bibliográficos de los diez libros de texto de Química para el bachillerato seleccionados para su análisis. Fueron seleccionaron aquellos autores que cumplieron con alguno de los siguientes criterios:

- 1) Son consultados por uno de los profesores entrevistados; en cuyo caso se mencionó a los siguientes autores: Chang (1999 y 2011), Garritz y Chamizo (1984) y Phillips *et. al.* (2000).
- 2) Son libros de texto o guías para el profesor que edita el Colegio de Ciencias y Humanidades, específicamente para la asignatura de Química I y II: Rico García *et.al.* (2012). y García Pavón *et.al.*, (2009).

- 3) Son [los autores] profesores de bachillerato en activo y/o son empleados en sus clases: Gutiérrez *et.al.*, (2009).

Metodología de análisis. El formato de evaluación de los libros de texto, fue adaptado a partir de una herramienta desarrollada por Padilla y Furió en el 2008 (Ver **Tabla 10**); y tiene como objetivo establecer la organización y presentación de los conceptos asociados al tema del enlace químico. Se utilizó un formato de evaluación para cada uno de los libros de texto analizados.

Tabla 9 Datos bibliográficos de los libros de texto para el bachillerato seleccionados.

1. T. L. Brown, H. Eugene LeMay, Jr., Bruce E. Bursten, Catherine J. Murphy, (2009), *Química. La ciencia central*, Decimoprimer edición, México, Pearson Educación.
2. R. Chang, (2011), *Fundamentos de química*, Adaptado de la décima edición de *Química* de Raymond Chang, México, McGraw-Hill.
3. R. Chang, (1999), *Química*, Sexta edición, McGraw-Hill, México.
4. M. P. García Pavón, L. González Carrillo, S. G. Martínez Galindo, C. Rivera Blanco y M. de L. Valenzuela Ramos, (2007), *Guía para el profesor de Química II en el CCH*, Primera edición: 2007, Departamento de Actividades Editoriales de la Secretaria de Servicios de Apoyo al Aprendizaje, México.
5. A. Garritz y J. A. Chamizo, *Química*, (1984), Primera edición. Addison-Wesley Iberoamericana, S.A., México.
6. E. A. Gutiérrez R., O. Rodríguez Z. y C. Carmona T., (2008), *La química en tus manos*, UNAM, Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial. México.
7. E. A. Gutiérrez R., O. Rodríguez Z. y C. Carmona T., *La química en tus manos II. Ciencias físico-matemáticas y de las ingenierías*, (2009), Primera edición, UNAM, Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial, México.
8. J. S. Phillips, V. S. Strozak, C. Wistrom, (2000), *Química. Conceptos y aplicaciones*, Primera edición, Mc Graw-Hill, México.
9. A. Rico Galicia, R. E. Pérez Orta, (2012), *Química I. Agua y Oxígeno*, Tercera Edición de la Cuarta Edición, UNAM-CCH, México.
10. A. Rico Galicia, R. E. Pérez Orta, (2009), *Química Segundo curso para estudiantes del Bachillerato del CCH*, Primera Edición, UNAM-CCH, México.

Análisis de resultados. Los libros de texto juegan un papel determinante en el proceso de enseñanza-aprendizaje; en ellos se encuentran no sólo las ideas centrales de la materia en cuestión sino también son una expresión de las intenciones de la enseñanza y una fuente de apoyo en los profesores novatos (Talanquer, 2004). Así mismo, Kuhn afirma que los libros de texto son el reflejo del conocimiento científicamente aceptado y favorecen que los estudiantes sean *adiestrados* dentro de la tradición científica vigente, es decir, son una guía de su

práctica profesional (Kuhn, 1997). Por lo anterior, al analizar los libros de texto se puede establecer la secuencia de los contenidos empleados para la enseñanza del enlace químico y el discurso didáctico asociado a este. Los resultados fueron tabulados, analizados y categorizados.

Tabla 10 Reproducción del formato de evaluación para los libros de texto seleccionados.			
Autor (s): Editorial:		Título: País:	
		Edición: Año:	
Aspecto		Resultado Si/No	Cita Textual o Comentario
1. ¿En la introducción del texto y/o del tema se habla de los modelos y de su uso en ciencias?			
2. ¿De forma general se relacionan las propiedades de los compuestos con su tipo de enlace?			
3. ¿Existen referencias a algún aspecto histórico?			
4. ¿Se da una definición general del enlace químico?			
5. ¿Se habla del carácter iónico, covalente o metálico de los compuestos?			
6. ¿Cómo una introducción al modelo de enlace iónico se hace énfasis en la formación de los iones?			
7. ¿Se mencionan las limitantes que tiene la regla del octeto?			
8. ¿El texto plantea las limitantes de los modelos de enlace o la existencia de enlaces intermedios?			
9. ¿Explican las propiedades de los metales a través del modelo del mar de electrones?			
10. ¿Introduce alguno de los conceptos siguientes para explicar o describir los aspectos del enlace? a) polaridad b) electronegatividad			

2.3. Profesores

Inicialmente se tenía proyectado trabajar con seis profesores de los diferentes planteles del Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM, sin embargo por diferentes razones, esto no fue posible y sólo se contó con la participación de dos de ellos. Por lo tanto, el presente trabajo se considera un estudio de caso cualitativo que toma en cuenta los resultados obtenidos de estos dos individuos o sujetos.

2.3.1 Sujetos de estudio:

Dos profesores en activo pertenecientes al CCH, ambos son egresados de la MADEMS (Maestría en Docencia para la Educación Media Superior) e imparten las asignaturas de Química I y II en los primeros semestres. Para conservar el anonimato se utilizarán pseudónimos masculinos: Aureliano y Laudelino; para referirse a ellos, independientemente de su género. El profesor Aureliano cuenta con 12 años de experiencia docente mientras que Laudelino tiene 18 años.

2.3.2 Metodología de análisis: Adaptación del CoRe:

Para documentar y retratar el CPC de los profesores mencionados, se utilizaron dos instrumentos: una entrevista semiestructurada y un protocolo de observación (RTOP). El guion de la entrevista se basa en una herramienta desarrollada por John Loughran *et. al.* (2004) y adaptada por Padilla en el 2014, la cual consta de 12 preguntas básicas que se enlistan en la **Tabla 11**. Ambas entrevistas tuvieron una duración aproximada de 30 minutos y fueron grabadas, transcritas y analizadas.

Posterior a la entrevista, previo consentimiento de los profesores se asistió al número de clases en que ellos impartieron el tema del enlace químico. El profesor Aureliano expone el tema en 2 sesiones (cada una de una duración aprox. de 120 min.); mientras que el profesor Laudelino lo hace en 8 sesiones cada una de duración aprox. de 90 min. En ambos casos, los grupos contaban con la asistencia de un aproximado de 25 alumnos de características socioeconómicas similares. Dichas sesiones se grabaron, se transcribieron, analizaron y se estableció la secuencia de los contenidos y el discurso didáctico empleado por el profesor para la enseñanza del enlace químico.

Tabla 11. Estructura del CoRe, que sirvió de guía en las entrevistas. Se modificaron algunas preguntas y se añadieron otras de la versión original de Loughran et. al. (2004); por Padilla (2014).

Pregunta	Componente del CPC
1. ¿Qué importancia le das al tópico en el curso que impartes?	
2. ¿Cuáles son los conceptos centrales relacionados al tópico?	
3. ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender este concepto?	Orientaciones Conocimiento y creencias sobre el currículo científico
4. ¿Qué intentas que aprendan con esta idea?	Orientaciones Conocimiento y creencias sobre el currículo científico
5. ¿Qué más sabes sobre esta idea que no le enseñes a tus estudiantes?	Orientaciones
6. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas al aprendizaje de este concepto? (estudiantes)	Conocimiento y creencias sobre la comprensión de los estudiantes
7. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de este concepto? (profesor)	Orientaciones
8. ¿Qué conocimientos acerca del pensamiento de los estudiantes influye en tu enseñanza de este concepto?	Conocimiento y creencias sobre la comprensión de los estudiantes
9. ¿Qué procedimientos empleas para que los estudiantes se comprometan con el concepto (analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones, reformulaciones, etc.)?	Conocimiento y creencias sobre las estrategias de enseñanza Conocimiento y creencias sobre el currículo científico
10. ¿Qué formas específicas utilizas para evaluar el entendimiento o confusión de los estudiantes sobre el concepto?	Conocimiento y creencias sobre evaluación. Conocimiento y creencias sobre la comprensión de los estudiantes.
11. ¿Consideras que esta evaluación le permite reflexionar sobre lo que ha aprendido y como lo ha hecho?	Conocimiento y creencias sobre evaluación. Conocimiento y creencias sobre la comprensión de los estudiantes.
12. ¿Cómo esperas que el aprendizaje de este concepto impacte en la vida cotidiana de tus estudiantes? ¿Qué haces para que tenga ese impacto?	Conocimiento y creencias sobre la contextualización del contenido.

2.3.2 Protocolo Reformado de Observación a la enseñanza o RTOP

Durante la observación, se utilizó el Protocolo Reformado de Observación a la enseñanza o RTOP (por sus siglas en inglés) desarrollado por Piburn y Sawada en el 2000 (ver **Anexo 1**). El cual se evaluó asignando un valor a cada ítem del

protocolo empleado. Al finalizar el seguimiento, se promedió el valor obtenido en cada clase para cada uno de los ítems evaluados. Dichos valores fueron graficados al asignarle una letra a cada ítem de los apartados III, IV y V, esto con la finalidad de poder comparar y analizar la presencia y distribución de los aspectos evaluados.

Tabla 12. Adaptación y reproducción de algunos ítems destacados del RTOP.	
Apartado	Ítem
III. Diseño e implementación de la lección	¿La estrategia de enseñanza y las actividades respetan el conocimiento previo y las concepciones alternativas de los estudiantes al respecto?
IV. Contenido	<i>Conocimiento proposicional</i> ¿Los elementos de abstracción (representaciones simbólicas, construcciones teóricas) son fomentados cuando es importante hacerlo? <i>Conocimiento procedimental</i> ¿Los estudiantes usan una variedad de recursos (modelos, dibujos, gráficos, materiales, etc.) para representar el fenómeno?
V. Cultura de clases	<i>Interacciones comunicativas</i> ¿Hubo un clima de respeto a las ideas de los demás? <i>Relaciones Alumno/Profesor</i> ¿La participación activa de los estudiantes es fomentada y valorada?

El RTOP consta de cinco apartados (ver **Tabla 12**). El primero recoge los datos generales del profesor, de los estudiantes y otros relacionados al lugar donde se llevará a cabo la sesión; mientras que el segundo cuenta con espacio suficiente para realizar las notas que el observador considere pertinentes. En el apartado III “*Diseño e implementación de la lección*”, se evalúan aspectos que pueden relacionarse principalmente con algunas características del componente A (Orientaciones) del CPC, como puede ser la participación activa de los estudiantes en el aula o si en una actividad experimental no existe un único método de solución. La siguiente sección “*Contenido*” se divide a su vez en dos: el conocimiento proposicional y el procedimental. Ambas subsecciones comparten aspectos relativos a los componentes B (Conocimiento del currículum) y C (Conocimiento del entendimiento científico de los estudiantes) del CPC: como el nivel de abstracción empleado por el profesor en la presentación de los conceptos y/o la relación entre ellos en el currículum. El último apartado, (V) “*Cultura de Clases*”, examina dos

aspectos: las interacciones comunicativas y las relaciones profesor-alumno. Las cuales, según indican los autores, no son mutuamente excluyentes, a su vez se relacionan con varios componentes del CPC.

2.3.3 Análisis de resultados

Según Magnusson (1999) el CPC está conformado por cinco componentes, los cuales, a su vez son divididos en diferentes subcomponentes. Padilla y Van Driel (2011), discuten y asignan un código a cada uno de los subcomponentes propuestos por Magnusson *et. al.* (1999). En el presente trabajo, cada una de las transcripciones de las entrevistas realizadas, fue fragmentada, interpretada y comparada con los códigos empleados en la **Tabla 13**.

Durante la observación de las clases, se asignó un valor a cada ítem del protocolo empleado. Al finalizar el seguimiento de las clases se promedió el valor obtenido en cada clase para cada uno de los ítems evaluados. Dichos valores fueron graficados al asignarle una letra a cada ítem de los apartados III, IV y V, esto con la finalidad de poder comparar y analizar la presencia y distribución de los aspectos evaluados. En la **Tabla 14**, se encuentra una relación de los diferentes aspectos del CPC que son evaluados a través de las herramientas utilizadas: la adaptación del CoRe y del RTOP.

Tabla 13 Adaptación de los componentes y subcomponentes del CPC, propuestos por Padilla y Van Driel (2011).		
A) Orientación hacia la enseñanza de la ciencia		
Orientación	Código	Definición
Proceso	A1	El profesor introduce a los estudiantes en el proceso de pensamiento empleado por los científicos.
Rigor académico	A2	Los estudiantes son retados con problemas y actividades difíciles; donde se muestra una relación entre los conceptos y el fenómeno.
Didáctica	A3	El profesor presenta información a través de una lectura, discusión o pregunta guía.
Cambio conceptual	A4	Los estudiantes son presionados a ver o considerar soluciones alternativas.
Actividades dirigidas	A5	Los estudiantes participan en actividades para la verificación o el descubrimiento.
B) Conocimiento del curriculum científico		
Conocimiento de los objetivos y las metas de enseñanza	B1	Objetivos de enseñanza en la asignatura.
	B2	Objetivos y directrices de la enseñanza.
Conocimiento del curriculum específico	B3	Conocimiento que los estudiantes adquirieron en cursos previos o que deben saber en cursos posteriores.
	B4	Conocimiento del curriculum y de los materiales relacionados a la asignatura.
C) Conocimiento del entendimiento científico de los estudiantes		
Conocimiento de los requerimientos para el aprendizaje.	C1	Prerrequisitos, habilidades y herramientas necesarias para aprender el concepto y concepciones alternativas.
Conocimiento de las dificultades del estudiante	C2	Variaciones en las aproximaciones o visiones de los estudiantes.
	C3	Conceptos científicos que los estudiantes encuentran difíciles, abstractos o contra intuitivos.
Creencias acerca de lo que los estudiantes saben, o no, o de cómo aprenden	C4	Creencias del profesor acerca de lo que los estudiantes saben o no, o de lo que los estudiantes deberían aprender.
D) Conocimiento de la evaluación en ciencias		
Conocimiento de las dimensiones a evaluar del aprendizaje científico	D1	Conceptos que son o no importantes de evaluar.
Conocimiento de los métodos de evaluación	D2	Estrategias de enseñanza que los profesores usan para evaluar el entendimiento de los estudiantes y que consideran que no son buenas.
E) Conocimiento de las estrategias instruccionales		
Conocimiento de las estrategias específicas en la asignatura	E1	Estrategias generales y que son usadas en más de una asignatura.
Conocimientos de las estrategias específicas del tópico	E2	Representaciones específicas para el tema (ilustraciones, ejemplos, modelos y analogías).
	E3	Actividades específicas para el tema (problemas, demostraciones, simulaciones o experimentos).

Tabla 14. Relación de los aspectos del CPC evaluados por la entrevista y el RTOP.		
Entrevista	Componente del CPC	RTOP
1. ¿Qué importancia le das al tema del enlace químico en el curso que impartes?	C. Entendimiento científico de los estudiantes y creencias	---
2. ¿Cuáles son los conceptos centrales asociados al tema del enlace químico?	---	IV. Conocimiento proposicional (ítems A y B)
3. ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender este concepto?	A. Orientaciones C. Entendimiento científico de los estudiantes y creencias	IV. Conocimiento proposicional (ítem E)
4. ¿Qué intentas que aprendan con esta idea?	A. Orientaciones	---
5. ¿Qué más sabes sobre esta idea que no le enseñes a tus estudiantes?	A. Orientaciones C. Entendimiento científico de los estudiantes y creencias	---
6. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas al aprendizaje de este concepto? (estudiantes)	C. Entendimiento científico de los estudiantes y creencias	IV. Conocimiento procedimental (Ítem A y B). V. Relaciones profesor/estudiante (ítems D y E)
7. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de este concepto? (profesor)	A. Orientaciones C. Entendimiento científico de los estudiantes y creencias	IV. Conocimiento proposicional (ítems B y C)
8. ¿Qué conocimientos acerca del pensamiento de los estudiantes influye en tu enseñanza de este concepto?	C. Entendimiento científico de los estudiantes y creencias	IV. Conocimiento proposicional (ítem C)
9. ¿Qué procedimientos empleas para que los estudiantes se comprometan con el concepto (analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones, reformulaciones, etc.)?	A. Orientaciones E. Conocimiento de las estrategias instruccionales	III. Diseño e implementación de la lección. IV. Conocimiento proposicional (ítem D) y procedimental (Ítem A y B). V. Interacciones comunicativas (Ítem A). V. Relaciones profesor/estudiante (ítem B).

10. ¿Qué formas específicas utilizas para evaluar el entendimiento o confusión de este concepto?	A. Orientaciones D. Conocimiento de la evaluación científica	III. Diseño e implementación de la lección (ítem D). IV. Conocimiento procedimental (Ítems D y E).
11. ¿Consideras que esta evaluación le permite reflexionar sobre lo que ha aprendido y como lo ha hecho?	D. Conocimiento de la evaluación científica	---
12. ¿Cómo esperas que el aprendizaje de este concepto impacte en la vida cotidiana de tus estudiantes?	E. Conocimiento de las estrategias instruccionales	IV. Conocimiento proposicional (ítem E) y procedimental (Ítem A).

CAPÍTULO III. RESULTADOS

En primer lugar se presentarán y analizarán los resultados obtenidos de cada una de las entrevistas realizadas, posteriormente se relatará y discutirá la propuesta de enseñanza propuesta por cada profesor y las coincidencias o diferencias encontradas con lo observado en el análisis de los libros de texto consultados. Finalmente se presentarán los resultados obtenidos de la observación de clases y el uso del protocolo de observación RTOP. En todo momento iniciaremos la presentación y el análisis de los resultados con el profesor Aureliano seguido del profesor Laudelino.

3. Las entrevistas y el CPC

Del análisis de cada una de las entrevistas fue posible relatar el CPC de cada uno de los profesores participantes. Cada fragmento de la entrevista se encuentra en cursivas. Al inicio del estudio de cada uno de los profesores se puede localizar una Tabla con los resultados globales de la entrevista.

A partir de la fragmentación y codificación de la entrevista, se determinó la presencia y frecuencia de cada uno de los componentes y subcomponentes del CPC. Dichos resultados se discutirán de manera conjunta, presentando un componente a la vez. Al final de esta sección se presentará un análisis final para cada profesor donde se mostrará la relación encontrada entre cada componente del CPC.

3.1. El caso del profesor Aureliano

La entrevista con Aureliano tuvo una duración aproximada de 30 minutos. En la **Tabla 15**, se encuentra un extracto de las siete primeras preguntas de la entrevista realizada al profesor; las respuestas a las preguntas restantes difieren mínimamente entre sí por lo que se discutirán en conjunto más adelante. A partir de

este momento todas las letras en cursivas corresponden textualmente a lo dicho por el profesor durante la entrevista o en sus clases.

El CoRe es una herramienta que muestra los conceptos que son vistos como importantes por el profesor para la enseñanza del tópico en cuestión, la relación existente entre ellos, el orden en que se presentarán, las actividades, estrategias y formas de evaluación que cree más adecuadas para el aprendizaje (Loughran *et. al.*, 2004). Aureliano afirma que los conceptos centrales asociados al tema del enlace químico son: reacción química, cambios de estado y energía. El profesor menciona en varias ocasiones la importancia y las conexiones entre los conceptos que considera clave:

- Al hablar de las **reacciones químicas**: *vas a hablar de la ruptura y formación de enlaces, [...] y puedes entender muchas de las propiedades de los materiales: porque el vidrio puede romperse tan fácilmente, porque una pelota rebota, porque algo conduce la corriente eléctrica, porque algo no sé, es soluble en otro componente.*
- La conexión entre **la energía y las reacciones químicas** le permite explicar: *la importancia de las reacciones exotérmicas; les decía a mis alumnos, lo que el ser humano necesita más, son reacciones exotérmicas. La respiración es una reacción exotérmica que nos da la posibilidad de movernos, [...] gracias a esa energía que obtenemos a partir de la ruptura y formación de enlaces.*
- Mientras que **la energía**: *está involucrada en cambiar de un estado [de agregación] a otro y en la ruptura y formación de enlaces débiles [intermoleculares]. Me importa, por ejemplo, que entiendan ¿Por qué el agua puede pasar de un estado a otro?*

De acuerdo con lo anterior, la energía es uno de los conceptos clave que Aureliano emplea para establecer las relaciones entre los conceptos seleccionados; ya que en las reacciones químicas al igual que en los cambios de estado, hay ruptura y formación de enlaces (intra o intermoleculares) y en ambos procesos ocurre la liberación y absorción de energía. La importancia y los aprendizajes que Aureliano describe en la entrevista (**preguntas 1, 2 y 3** del CoRe, ver **Tabla 15**) giran en torno de esta idea.

Tabla 15. Extractos de la entrevista al profesor Aureliano.

Pregunta CoRe	Concepto/Idea Central			
	Energía	Cambios de estado	Reacción Química	Propiedades físicas
1. ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender esta idea?	En todas las reacciones químicas hay cambios energéticos	Permite introducir el estudio de las interacciones débiles. Por ejemplo: los puentes de hidrógeno	Existe una ruptura y formación de enlaces	Las propiedades están relacionadas con el enlace
2. ¿Qué intentas que aprendan con esta idea?	Identificar y clasificar las reacciones en endotérmicas y exotérmicas; así como su importancia en la vida cotidiana.	Entendimiento de los cambios de estado a través de la ruptura y formación de interacciones intermoleculares	La energía está involucrada en la ruptura y formación de enlaces en una reacción química	Clasificación de las sustancias en covalente o iónico según sus propiedades
3. ¿Qué más sabes sobre esta idea que no les enseñes a tus estudiantes?	Energías de enlace. Afinidad electrónica.	Otros: Octeto de Lewis, enlace metálico, teoría de bandas y aspectos relativos a la mecánica cuántica.		
4. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas al aprendizaje de este concepto (estudiantes)?	Entender que todas las reacciones liberan y "necesitan" energía	A. En todos los cambios de estado hay energía involucrada.	No podemos ver el "durante" de una reacción química.	A. Distinción entre átomo, molécula y red cristalina.
		B. La existencia de las moléculas y la permanencia de su tamaño.		B. Identificación de mezcla y elemento.
Bajo desarrollo del pensamiento abstracto.				
5. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de este concepto (profesores)?	Relaciones entre la representación del enlace y la energía: no está contenida en un "palito"	Demostración de la existencia de las moléculas.	La abstracción y visualización de las reacciones químicas.	
		Búsqueda y aplicación de estrategias adecuadas.		
6. ¿Qué conocimientos acerca del pensamiento de los estudiantes influye en la enseñanza de este concepto?	Conocimiento de concepciones alternativas: al romperse un enlace "sale energía del palito"	Las moléculas crecen o se hacen pequeñas durante un cambio de estado	No podemos ver el "durante" de una reacción química	
		Disminuir el nivel de abstracción de los conceptos.		
7. ¿Qué procedimientos	Estudio de las reacciones y	A. La influencia de las	A. Actividad experimental: la	Medición de la solubilidad y la

empleas para que los estudiantes se comprometan con el concepto (analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones, reformulaciones, etc.)?	sus cambios energéticos: la respiración.	interacciones débiles en la solubilidad de algunas sustancias en agua, por ejemplo: la cantidad de sacarosa o cloruro de sodio. B. Relación entre la densidad del agua, la vida mariana y la congelación de mares y ríos.	electrolisis del agua. B. Estudio de las reacciones de formación de la lluvia ácida.	conductividad en disolución de distintos cloruros, glucosa, sacarosa y azufre
--	--	--	---	---

En cuanto a la **pregunta 3** (¿Qué más sabes sobre esta idea que no les enseñes a tus estudiantes?), Aureliano no les enseña a sus alumnos aspectos relacionados a la mecánica cuántica, a la interacción entre elementos representativos y metales de transición (*donde los orbitales d nos generan conflicto*), la afinidad electrónica, la energía de enlace y el octeto de Lewis. Al dar su respuesta, también expresa sus creencias y sentimientos al respecto; permitiéndonos inferir su cariño por el estudio de las reacciones químicas a las que juzga como el *corazoncito de la disciplina*, su desagrado por el octeto de Lewis (que le *cae gordo*) o por la afinidad electrónica *que no es una propiedad de la que a mí me guste hablar mucho*. Empero, a través de frases como:

*Sé qué significa, pero siento que no representa...que su ausencia no va a generarme un problema
Es algo que sí entiendo... pero me parece que no debería todavía abordarse con ellos
Creo que de lo que sé, pero no se les debe de dar a los chicos...*

Aureliano dice comprender el significado de estos conceptos, pero que los omite por considerarlos innecesarios o prescindibles o porque su inclusión resulta más un impedimento para lograr que sus alumnos alcancen un correcto entendimiento del enlace, como lo es:

El octeto que lo cumplen unos, otros no y que tienes que trabajar únicamente con ciertos compuestos porque si los cumple; pero además de que con Lewis te quedas con ellos hasta que cumplan el

octeto. No he podido llegar más hacia ver si formaron un tetraedro o si formaron una pirámide...

Aunque esta razón es válida para justificar la omisión del tópico en la planeación de su secuencia, Aureliano comenta: *hace dos años no lo di [el octeto], ni el año pasado, pero hace tres sí y este año no lo sé, todavía no tengo claridad si lo voy a abordar o no*, y por segunda ocasión afirma: *me cae gordo Lewis*. Por lo tanto, se percibe que la enseñanza de este tema podría estar asociada a una fuerte emoción o creencia para el profesor, más que a una consideración teórica, dado que no dio argumentos en ese sentido. Finalmente se observó que en sus clases se omitió el estudio del octeto.

Shulman (2007, tomado de Berry, Loughran y Van Driel, 2008, pag. 1275-1276) consideraba que si un profesor no cuenta con un entendimiento y afectividad real hacia el tema no sería capaz de enseñarlo bien; sin embargo, existen pocos estudios que hablen de la importancia de las emociones en el pensamiento docente, en el desarrollo del CPC o en el proceso de planificación y organización del quehacer docente. En este caso en particular y únicamente en relación al tema en cuestión, a pesar de que el profesor dice comprender el contenido disciplinar alrededor del enlace químico, resulta razonable concluir que sus emociones juegan un papel determinante en la estructuración de su secuencia de enseñanza, el poco tiempo dedicado al estudio del tema y por la reproducción de una visión fragmentaria que le da al estudio del enlace.

Sobre la **pregunta 4** (¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas al aprendizaje de este concepto (estudiantes)?), Aureliano considera que en general las concepciones alternativas y las ideas previas son la principal limitación o dificultad que los alumnos enfrentan en el aprendizaje del enlace químico. Durante la entrevista nombró varias de las concepciones alternativas más comunes asociadas a cada concepto central (ver **Tabla 15**), además comenta que no sólo las conoce como resultado de sus lecturas sino de *las evidencias que vas recogiendo, van constatando lo que aprendiste en la maestría (MADEMS)*. Por otra parte, le otorga un papel fundamental al pensamiento abstracto al considerarlo

simultáneamente una limitación para el entendimiento y la enseñanza no sólo del enlace sino de la química (**preguntas 4, 5 y 6**). El profesor menciona que:

[A los alumnos] les cuesta mucho trabajo entender el concepto de enlace, es muy abstracto y los demás también (energía, reacción química y cambio de estado) [...] por otro lado, la abstracción a su edad la han desarrollado poco, pero eso no quiere decir que un adulto [las comprenda] hay cosas que a mí me cuesta mucho trabajo imaginar.

Como Aureliano comenta, la química es una ciencia con un alto grado de abstracción que resulta en ocasiones difícil de comprender, pero también señala una realidad: el pensamiento abstracto dentro de un modelo de enseñanza que premia la memorización difícilmente se desarrolla; además esta deficiencia no es privativa de los alumnos. Por lo tanto, es importante que dentro de los programas de formación docente se incluyan estudios relativos al conocimiento disciplinar, con el fin de incrementar su entendimiento sobre el mismo y en consecuencia facilitar el uso de estrategias de enseñanza más efectivas. Sobre este punto, Aureliano comparte una reflexión:

Un alumno me puede decir: ¿cómo lo sabes si no lo puedes ver? Esas son dificultades para el maestro, cómo lograr que el alumno logre transitar hacia esa abstracción. [...] Busco la manera de tratar que cambien sus ideas, de que entiendan lo que están planteando. ¿Cómo? Con estrategias, con otras preguntas, con un ejemplo o contraejemplo, ahí el don del maestro es ingeniárselas, ¿Cómo vas a tratar de mover esa idea que tiene el alumno?

Nuevamente Aureliano expresa que la abstracción es una fuerte limitante para el entendimiento de la química, es consciente de que los alumnos (y cualquier otra persona) al no poder ver las entidades o los procesos (como la reacción química) propios de la química; necesitan interpretarlos a través los símbolos y modelos que sirven de herramientas para su estudio, lo cual solo es posible sólo gracias al pensamiento abstracto. Aunque el profesor no profundiza más en este asunto, si detalla una de las estrategias empleadas para tratar de que sus alumnos *cambien* sus ideas; sobre los metales y sus propiedades:

Les pedí que me trajeran la foto del potasio, del metal potasio, y ¿Qué crees que me trajeron? ¡Un plátano! O les dije: foto del metal sodio y me trajeron cloruro de sodio; entonces te dicen: ¡ah mira! ¡Ahí se ve! Juran y perjuran que ven “el sodio” y en realidad es una “sal” de sodio. Les gusta a los alumnos hacerte creer que ven lo que tú les dices. [...] cuando ya les enseñé el sodio, les dije ¿se parece a tu foto?, pues no.

Tomando en cuenta el conocimiento y la importancia que Aureliano le da a las ideas previas, las concepciones alternativas para la planificación de sus clases y por el ejemplo que menciona durante la entrevista, aparentemente el profesor practica un modelo de enseñanza con tendencias constructivistas; ya que la estrategia detallada aparentemente busca provocar un choque entre las ideas previas de los alumnos y el conocimiento científico. Por último, es importante destacar que el profesor no encuentra limitaciones o dificultades para la enseñanza o el aprendizaje de estos temas que estén específicamente relacionadas con algún aspecto disciplinar.

¿Qué otros procedimientos, ejemplos o demostraciones utilizan durante sus clases el profesor Aureliano (**pregunta7**)? En su respuesta afirma que de manera general los modelos son una herramienta que emplea frecuentemente sin importar el tema; en su discurso refleja un genuino interés por incorporarlos en su aula:

Me he vuelto fan de los modelos, pero esto ha sucedido en los dos últimos años [...], para que entiendan los alumnos y siempre les digo: a ver este modelo que escribió o dibujo su compañero, ¿quién lo puede mejorar? Entonces, me evito esa bronca de que está mal tu modelo, porque además no está mal el modelo, es su idea.

Como lo declara el profesor, tiene poco tiempo que empezó a trabajar con los modelos en su aula; pero está consciente de su importancia y de las ventajas que tiene su empleo para el entendimiento de sus alumnos. Cuando comenta: *a ver este modelo que escribió o dibujo su compañero ¿quién lo puede mejorar?*, nos invita a pensar, según lo dicho en la entrevista, que las actividades de modelización inician individualmente, a continuación, socializan las propuestas hechas y finalmente son discutidas ante todo el grupo, con el aparente propósito de obtener un modelo consensuado. En esta explicación también es posible visualizar que Aureliano, busca que sus alumnos desarrollen una habilidad no que aprendan un

contenido; lo cual es coherente con los propósitos de incluir a los modelos en el ámbito escolar. También les solicita a sus alumnos que *siempre* trabajen el análisis experimental de sus informes con modelos y que estos pueden ser:

Desde una ecuación hasta la química de las bolitas [...] que lo hagan como ellos quieran, porque es su modelo. Si de pronto te ponen un oxígeno positivo y un hidrógeno negativo en [la molécula] del agua, si tienes que decirles a ver ¿qué pasa? si de pronto te hacen un triángulo en lugar de un círculo pues está bien porque nadie ha dicho que un círculo sea mejor que un triángulo, pero que representen algo.

Aunque durante la entrevista no fue posible profundizar más en esta cuestión; el profesor afirma no discutir claramente las características de los modelos con sus alumnos, pero les brinda la posibilidad de expresarse libremente, los guía para lograr que concreten *su idea* en un modelo que *represente algo* y sean conceptualmente consistentes. Representación e idea, son dos palabras que Aureliano asocia a los modelos: la primera de ellas nos refiere a su característica principal y la segunda a su construcción. Adicionalmente, refiere que al evaluar los modelos hechos por sus alumnos, discrimina y evalúa las características irrelevantes; como son los simbolismos empleados (círculo / triángulo), de aquellas que no lo son, como la distribución de cargas en la molécula del agua).

Adicionalmente a las preguntas del CoRe, se le cuestionó sobre la forma en la que el manejo de los modelos podría impactar en la vida de sus alumnos, cuestión a la que no le fue posible dar una respuesta. Sin embargo, nuevamente aparece su preocupación por el bajo desarrollo del pensamiento abstracto; lo que parece tener una fuerte influencia en su pensamiento:

No lo sé, no lo sé de verdad que tanto puedan incidir los modelos en su vida cotidiana. Me has hecho una pregunta interesante porque no sé si eso les ayuda a mejorar la abstracción o a plantear en orden sus ideas a partir de un modelo, no lo sé.

Conforme a un estudio realizado por Loughran *et. al.* en el 2008, el CPC da conciencia de lo que se hace en el aula es adecuado o ayuda al aprendizaje; es decir, el profesor al seleccionar una actividad sobre otra lo hace pensando en que aquella que emplee posee las características adecuadas para obtener un

entendimiento coherente, en un tiempo y contexto específico. En este sentido, aunque Aureliano dice reconocer la importancia de los modelos en la enseñanza de las ciencias; no tiene claridad sobre las razones que lo impulsan a emplear actividades de modelización en su aula, por lo tanto, se podría pensar que el CPC con el que cuenta el profesor en esta cuestión, es limitado; debido principalmente al poco tiempo que lleva implementado el uso de los modelos en su aula.

Adicionalmente a los modelos, Aureliano dice emplear regularmente analogías antropomórficas; las cuales, serán discutidas más adelante debido a: 1) las fuertes similitudes encontradas entre lo observado en sus clases y los resultados obtenidos al respecto en los libros de texto y 2) a que juegan un papel determinante en su secuencia de aprendizaje.

En la **Tabla 16**, se observan algunas de las actividades o ejemplos que específicamente Aureliano emplea para la enseñanza de los conceptos centrales. Las actividades experimentales están enfocadas a la verificación, mientras que los ejemplos empleados buscan mostrar la relación entre el concepto y el fenómeno en cuestión. Durante la entrevista, mencionó dos actividades que específicamente utiliza para la enseñanza del enlace:

- a) **Medición de la conductividad eléctrica y la solubilidad en agua:** *Hay un [experimento] que me gusta mucho, donde pongo sustancias iónicas, covalentes y no polares (como el azufre), entonces identifican conductividad eléctrica y solubilidad en agua.*

- b) **Clasificación de las sustancias:** *A partir de las fórmulas, de ubicar en donde están en la tabla periódica y el comportamiento [experimental] que tuvieron, las podemos clasificar [a las sustancias] en iónicas, covalentes y covalentes no polares. [...] Es decir: metal-no metal, metal-metal, no metal-no metal- para iónico, covalente o covalente no polar. El azufre es el que te da la pauta para hablar de [un compuesto] covalente no polar, porque además no se disuelve en agua.*

Como más adelante expresa Aureliano, las actividades experimentales y el informe derivado de ellas, son parte medular de su metodología de enseñanza. Los resultados obtenidos de esta experiencia, sus detalles, alcances y limitaciones, se discutirán más adelante cuando se revise la secuencia de aprendizaje empleada por el profesor.

Tabla 16. Actividades realizadas por Aureliano para la enseñanza de los conceptos centrales.		
Concepto	Actividad	Extracto de la entrevista
Reacción química	La electrólisis o síntesis del agua.	<i>[Comprobar] la ruptura y formación de enlaces covalentes polares entre el oxígeno y el hidrógeno.</i>
Energía	Ejemplos empleados	<i>La respiración es una reacción exotérmica que nos da la posibilidad de movernos, de hacer todas nuestras actividades, gracias a esa energía que obtendremos a partir de la ruptura y formación de enlaces.</i>
Cambios de estado	Preparación de disoluciones saturadas de sacarosa y cloruro de sodio en agua.	<i>Se dan cuenta de que se puede disolver mucha sacarosa, casi el doble de la masa de agua; por los puentes de hidrógeno [...] hay una interacción débil entre ellas.</i>

En cuanto a la forma de evaluación (**pregunta 8**), Aureliano declara que generalmente trabaja todos los temas siguiendo una metodología en común, al describirla nos señala las etapas e instrumentos que usa para la evaluación del aprendizaje.

En un primer paso, utiliza un cuestionario inicial que potencialmente tiene dos propósitos: diagnosticar el conocimiento previo con el que cuentan los alumnos y promover la metacognición (ya que ellos revisan sus respuestas al inicio al final de la secuencia). A continuación, Aureliano realiza una serie de actividades que le permitirán dar respuesta al problema planteado, entre las cuales siempre incluye la realización de un experimento. Al finalizar el experimento, los alumnos elaboran el informe correspondiente durante el tiempo de clase y en equipos. Aureliano concede gran importancia al análisis de los resultados de este producto elaborado por los alumnos. Según sus palabras:

Generalmente empiezo con un cuestionario para ver, no ideas previas que eso ya de alguna manera lo sabes, sino para que ellos manifiesten o den un punto de partida: esto es lo que sé. [...] luego viene una actividad y después vuelven a revisar sus primeras respuestas, para replantearlas si se equivocaron o mejorarlas [según] sea el caso.

[Después] empiezo con la exposición de un problema, un experimento y en el análisis [del experimento], es donde va la carga disciplinaria. Hacen un informe, en el salón, en equipo, entonces el informe a mí me permite saber

que tanto aprendieron del tema, [también] con ejercicios y regresando al cuestionario inicial.

La forma de evaluación planteada por Aureliano, es interesante porque busca no sólo que el alumno reflexione sobre su aprendizaje (con el cuestionario inicial) sino que también le da una mayor importancia al trabajo en equipos y a los productos hechos por ellos, características que nos indican que su modelo de evaluación no está enfocado en cuidar que alumno logró una puntuación en un examen.

Aureliano reconoce que esta evaluación le permite reflexionar sobre su práctica docente y los resultados obtenidos (**pregunta 9**); pero que no puede tener certeza sobre la contribución de cada alumno (dentro un equipo en particular) en la elaboración del informe, por lo que, es preciso revisar el resultado de otras actividades (como ejercicios o tareas) realizadas individualmente:

Si, si me dan, pero me he dado cuenta que no en equipo. En equipo sabes unas cosas, pero las más importantes me parecen las individuales, porque en equipo se camuflajan los que no saben, pero individualmente te das cuenta de lo que entienden.

El profesor es capaz de reconocer estas limitantes como resultado de una reflexión constante sobre su práctica docente, en consecuencia, diversifica e incluye distintos productos a evaluar, en un esfuerzo por tomar acciones pertinentes para mejorar el entendimiento y/o aminorar las confusiones surgidas en sus alumnos:

Claro, haz de saber que leo todo [los informes, tareas, ejercicios] y voy tomando nota; luego hasta digo ¿yo dije eso? Entonces en la siguiente clase antes de empezar el siguiente tema o si es necesario volver a revisar el tema [anterior] lo hago y les digo: ¿en qué momento les dije tal cosa? Y aclarar ahí y te das cuenta de que ¡chin! ¿Por qué entendieron esto o en qué momento lo dije o por qué?

No podemos conocer con certeza los alcances o limitaciones de las estrategias, procedimientos y la evaluación empleadas por el profesor; sin embargo, se encuentra reportado en la literatura (pág. 32, del **Capítulo I**. Marco Teórico, del presente trabajo) que para obtener mejores resultados en estos aspectos se deben:

- 1) Alinear las formas de evaluación con las estrategias de enseñanza aprendizaje empleado.

- 2) Los alumnos deben estar conscientes de los objetivos del aprendizaje para que se obtener mejores resultados: como en el caso de los modelos o de otros aspectos de la naturaleza de las ciencias.

Finalmente, sobre la respuesta a la **pregunta 10**, Aureliano declara que busca que sus alumnos relacionen los temas vistos en clase con su vida cotidiana a través del estudio o discusión ejemplos y la realización de experimentos sencillos en los cuales se pueda observar algunos de los fenómenos que se relacionan con el concepto en cuestión, a continuación, describe algunos de ellos:

Trato de que lo que les enseñó lo puedan llevar en la medida de lo posible a su cotidianidad, hay cosas que no se puede, pero en otras que trato de hacer el vínculo. Por ejemplo, cuando vemos interacciones débiles les hablo de los puentes de hidrógeno y de la importancia de la interacción entre la sacarosa y el agua [...] Otra que les digo, cuando hacen agua de limón no es lo mismo disolver primero el limón y luego la sacarosa, que prepararla a la inversa, porque hay una interacción, una fuerza de interacción débil. Otra es la densidad del agua, ¿cómo el hielo puede flotar? Cuando en realidad, debería suceder lo contrario y entonces ahí entran los puentes de hidrógeno. ¿Cómo puedes encontrar en estado sólido algunos óxidos metálicos que tienen enlaces iónicos y óxidos de no metales en el ambiente que son gases contaminantes y forman la lluvia ácida?

Esta preocupación por vincular lo visto en clase con las vivencias de los estudiantes se puede apreciar a lo largo de la entrevista, mientras declara: la importancia de las reacciones químicas para explicar porque una pelota rebota, porque conviene que al preparar agua de limón disolver primero el limón, porque se forma la lluvia ácida...

3.2. El caso del profesor Laudelino

La entrevista con el profesor Laudelino tiene una duración aproximada de 35 min. Nuevamente se encuentran en cursivas las citas textuales de la entrevista o de sus clases. Laudelino comenta que los conceptos centrales que asocia al tema del enlace son: *átomo, molécula, ion, electronegatividad, y las propiedades físicas, específicamente conductividad eléctrica y solubilidad* (ver **Tabla 17**). Las relaciones

entre ellos y como los estructura para preparar su secuencia es compleja y gira en torno a dos ejes. En el primero de ellos, busca que los alumnos comprendan las diferencias entre estructuras químicas: átomos, moléculas, redes iónicas, covalentes y metálicas. En el otro eje, están las relaciones entre la electronegatividad, las estructuras de Lewis, el estudio de las propiedades periódicas y las propiedades físicas de las sustancias. De la suma de ambos ejes, el profesor construye *un* modelo de enlace, con el cual, los alumnos puedan predecir y argumentar el tipo de enlace que una muestra o compuesto puede presentar de acuerdo con las propiedades que exhiba. Adicionalmente, su secuencia manifiesta una marcada influencia de la propuesta presentada por Sosa *et. al* (2008), donde se propone que *más que hablar de modelos de enlace, hablemos de las propiedades de los materiales. ¿Qué importancia le da el profesor al tema del enlace (pregunta 1)?* Laudelino nos dice:

Bastante, porque con esto pueden explicar cosas tanto de vivencias de los jóvenes, ejemplos prácticos, aplicar modelos, ósea cosas que al final de cuentas permiten construir la idea de cómo opera la ciencia y como explica cosas.

La respuesta, aunque es breve, refleja no sólo la importancia que le da al tema sino el conocimiento de los planteamientos que son directrices en la enseñanza actual de la ciencia: el entendimiento del proceso de construcción del conocimiento así como del adiestramiento de las prácticas propias del quehacer científico. Entre ellas es el uso y construcción de modelos; que a lo largo de toda la entrevista hace referencia a los modelos; por lo cual este aspecto se discutirá en profundidad más adelante.

Tabla 17. Extractos de la entrevista al profesor Laudelino.

Pregunta CoRe	Concepto/Idea Central			
	Átomo, molécula, ion y redes	Electronegatividad	Propiedades físicas	Otros
1. ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender esta idea?	Diferenciar entre átomo, molécula, ion y redes, para estructurar cómo es que los átomos forman	Eficiente para reconocer las condiciones en las que es probable que los materiales	Permiten la caracterización y clasificación de los materiales	

	iones, moléculas o redes	exhiban ciertas propiedades		
2. ¿Qué intentas que aprendan con esta idea?	Entender que la materia es discreta	Asociación de esta propiedad con el tipo de enlace	Entender a la naturaleza como es	Los diferentes tipos de enlace son sólo una clasificación pero en realidad se trata de una escala de grises
3. ¿Qué más sabes sobre esta idea que no le enseñes a tus estudiantes?	Evidencias y limitaciones de cada modelo atómico	Los orígenes y limitaciones del modelo	La reactividad de los materiales con el agua	Exhiben toda una gama de posibles tipos de enlace
4. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas al aprendizaje de este concepto (estudiantes)?	No entienden las implicaciones de que la materia es discreta y de carácter eléctrico	Los distintos intervalos de clasificación resultan confusos o se convierten en una "regla mágica"	Reconocer que las redes son las uniones más resistentes y con los mayores puntos de fusión	A. Uso de distintas terminologías "covalente no polar" vs. "covalente puro". B. Entender las transiciones entre modelos o los enlaces intermedios.
5. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de este concepto (profesores)?	Encontrar formas que le permitan a los estudiantes reconocer el papel de los modelos en la ciencia, sus limitaciones y construcción		Comenzar el estudio del enlace a través de las propiedades de los materiales	A. Síntesis y estructuración de la información. B. Evaluación del aprendizaje
6. ¿Qué conocimientos acerca del pensamiento de los estudiantes influye en la enseñanza de este concepto?	A. Hay "algo" que atrae a las moléculas entre sí. B. Existen "moléculas" y "no moléculas"	Falta de conexiones con la vida cotidiana	A. Relaciones rígidas entre las propiedades y el enlace. B. Falta de conexión con el estado de agregación.	
7. ¿Qué procedimientos empleas para que los estudiantes se comprometan con el concepto (analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones,	Estudio de los diferentes modelos atómicos: Dalton, Thompson y Bohr.	Ejercicios de lápiz y papel	A. Búsqueda de información documental sobre las características de los metales y no metales. B. Actividad experimental para la contratación entre la	A. Medición experimental de las propiedades de los materiales para determinar el tipo de enlace, de manera conjunta con la electronegatividad y el análisis de

reformulaciones, etc.)?			información bibliográfica y los resultados.	la estructura de Lewis. B. Ejercicios mentales para explicar las propiedades o el tipo de enlace que pueden presentar los materiales.
-------------------------	--	--	---	--

Laudelino también comenta los tres grandes objetivos o aprendizajes que pretende conseguir con sus alumnos a través de su propuesta de enseñanza son **(pregunta 2)**:

- ✓ El reconocimiento y la diferenciación de **átomos, moléculas y redes**: *Diferenciar una cosa de la otra y hacer una jerarquización, si les permite estructurar después las ideas de cómo los átomos, forman iones o cómo los átomos se reúnen y forman moléculas [o redes].*
- ✓ La clasificación de la sustancias según sus **propiedades**: *es entender a la naturaleza como es. [...] nos aproximamos al estudio de la naturaleza con modelos y los modelos medianamente describen algunas de las propiedades de la naturaleza.*
- ✓ La predicción y argumentación del tipo de enlace: *Explicar con el modelo de **electronegatividad** de Pauling porqué una asociación entre átomos da cierto tipo de enlace, es crucial para poder hacer una jerarquización. Tiene problemas el modelo, sí, pero es una manera eficiente de que el chico reconozca bajo qué condiciones es probable que los materiales exhiban ciertas propiedades y bajo qué condiciones van a exhibir otras distintas.*

En negritas se han subrayado los conceptos centrales asociados a cada aprendizaje. El primero de ellos, es justificado por el profesor con precisión: entender la estructura atómica ayuda en la comprensión del porqué se unen los átomos y la diversidad de estructuras que se pueden originar de esta unión. En el segundo de ellos, se habla del modelo de electronegatividad de Pauling como el puente entre la estructura química y las propiedades de un compuesto en particular. Conforme avanza la entrevista, el profesor habla con más detalle de las limitaciones de este modelo y de las características que lo acompañan.

A continuación Laudelino señala una parte fundamental del entendimiento conceptual del enlace que omite en su enseñanza (**pregunta 3**): los diferentes modelos de enlace son situaciones límite de un mismo fenómeno y la clasificación de las sustancias de acuerdo a sus propiedades presenta anomalías importantes. El plan de estudios del CCH plantea la enseñanza del enlace de acuerdo a estas características, según lo relata el profesor:

Hay dos cosas que deberían de verse pero que no están contemplados en el programa. Lo primero: los enlaces son una clasificación dicotómica, pero en realidad hay una escala de grises. Ósea los materiales ciertamente van a tener un comportamiento más o menos iónico, más o menos covalente, pero en realidad pueden exhibir toda la gama de comportamientos. Entonces los modelos, al ser dicotómicos, son muy limitados, debería de haber alguna forma de explicarlos a los chicos, pero la limitación del tiempo es importante. Deberíamos insistir.

Lo segundo, el modelo de enlace también tiene un problema: algunas de las propiedades que se utilizan para caracterizarlos es la conductividad eléctrica y su solubilidad en agua, pero hay cosas que reaccionan con el agua. Por ejemplo, los óxidos de no metales en su gran mayoría van a ser reactivos con el agua y al ser reactivos, pues no es que la molécula sea iónica sino que es covalente, pero al hidrolizar al agua van a provocar [la formación] iones que permiten la conducción de corriente.

Identifican que hay electrolitos y no electrolitos, pero reconocer que esto tiene que ver con otras características que son más de reacción química que de disolución, es algo que les resulta complicado.

Mientras que efectivamente evita hablar de la reactividad de los óxidos no metálicos en agua. ¿Por qué el profesor cita con exactitud este ejemplo sino la incluye en su aula? Esto puede deberse a que el programa del CCH señala que el estudio del enlace químico se inicie dentro del tema: *¿en qué difieren los óxidos metálicos de los no metálicos?* Además sugiere la realización de actividades de laboratorio y el empleo de dichos óxidos para: *aplicar la regla del octeto de Lewis, las estructuras de puntos, el concepto de electronegatividad de Pauling y la escala de electronegatividades para determinar el tipo de enlace: iónico, covalente polar o no polar.* Laudelino cumple con lo establecido en el programa; aunque conforme se va desarrollando el tema enriquece la propuesta hecha por el plantel.

¿Qué dificultades y limitaciones ha observado o conoce Laudelino en sus alumnos en cuanto al aprendizaje de estos temas (**pregunta 4**)? En su respuesta

nuevamente retoma y amplía una de las ideas que ha expresado con anterioridad: la dificultad que representa para los alumnos entender el carácter discreto y eléctrico de la materia. Mientras que en lo relativo a la electronegatividad, señala que existen diversos intervalos y términos empleados para la clasificación del enlace que resultan inútiles para los alumnos. Por último, habla sobre los obstáculos para el aprendizaje de la relación entre las propiedades de las sustancias y el enlace:

Les cuesta mucho trabajo [a los alumnos], primero entender que la naturaleza de la materia es discreta, lo segundo el carácter eléctrico de la materia. Ósea saben que hay electrones, protones... saben dónde están, por lo menos a nivel de discurso, pero no entienden las implicaciones de que la materia este cargada para hablar de porqué se atraen las cosas.

Lo segundo, diversos autores tienen distintos intervalos de electronegatividad en los que caracterizan a los diferentes modelos [de enlace] y le podemos sumar a la complejidad de este asunto, la denominación de enlaces covalentes puros o covalentes no polares. A ver, ¿es covalente no polar o covalente puro? Hablar de covalente no polar, covalente polar, iónico y metálico, como un caso excepcional y redes... ¿son cinco modelos de enlace? en realidad no hay cinco modelos, sino transiciones entre los modelos. Entonces, se generan términos muy específicos para la disciplina, pero que no dicen nada para los estudiantes

Además, es complicado caracterizarlos, porque resulta que cosas que deberían comportarse de cierta manera no lo hacen. El sulfuro de hierro tendría que ser iónico, pues no, se comporta más como covalente reticular. Entonces es una cosa rara que para los chicos a veces no tiene sentido.

Los comentarios totales hechos por el profesor parecen indicar que es consciente que una enseñanza del enlace químico en donde se aplican una serie de criterios con el único propósito de clasificarlos, privilegia un aprendizaje memorístico; antes que buscar la comprensión del fenómeno. Como a continuación lo declara:

El asunto es: hay que tratar con mucho cuidado el modelo de enlace de Pauling, que se privilegia en la literatura y en la didáctica de la química, como el modelo de enlace y ese es el gran problema.

Los chicos creen que ese modelo explica todo y no es cierto y las estrategias didácticas que tenemos refuerzan esta idea. Entonces insisto no hemos pensado en una manera más eficiente y ese es el problema, si encontramos una manera eficiente de hacerlo, a lo mejor podemos ir rompiendo este estereotipo de que cierto rango de diferencia de electronegatividad, exhibe ciertas propiedades porque hay cierto enlace.

Continuando con las dificultades asociadas al aprendizaje del enlace químico, otro aspecto de importancia a considerar es la forma en la que el profesor conoce el pensamiento de sus estudiantes y si este conocimiento influye en las decisiones tomadas en el aula (**pregunta 6**). Laudelino propone responder a la interrogante empleando dos ejemplos relacionados al tema del enlace; el primero de ellos es:

Voy a tratar de utilizar dos ejemplos. El primero de un joven que fue exitoso en este asunto, que logró hacer muchas conexiones con respecto al tema de enlace [y las] propiedades. A este joven lo conocí a la edad de quince, dieciséis años y empezamos precisamente con este rollo de los materiales y sus propiedades, cómo se comportan en el mundo y qué problemáticas se podrían explicar a través de estas propiedades.

Por decir algo, hay óxidos metálicos y no metálicos, los óxidos metálicos en general tienden a ser sólidos. Entonces el joven empezó diciendo tiene que haber algo que atraiga esas partículas entre sí para que sean sólidos.

Por otra parte, los óxidos [no] metálicos una parte de ellos, sino es casi todos, tienen puntos de fusión y de ebullición muy bajos y entonces... se atraen mucho menos y caracterizaba las cosas en moléculas y en otras cosas, que no eran moléculas. Las moléculas estaban sueltas, esas moléculas a su vez podrían interactuar con otras moléculas distintas y entonces yo podría ver "ácido" y así lo decía y entonces empezó a formar muchas relaciones con cosas que no tenían que ver propiamente con el discurso didáctico.

En este ejemplo es interesante destacar que si bien el alumno no usa los términos químicos correctos (*no moléculas o ver ácido*); el desarrollo de su pensamiento abstracto le permite hacer conexiones, construir nuevas relaciones y significados en torno a los conceptos y fenómenos vistos en clase. El alumno al decir que existe algo que atrae a las partículas, necesariamente tiene que estar creando sus propias representaciones, significados... es decir, está modelando sus vivencias con los temas vistos en clase. Podemos decir que su secuencia fue efectiva con este estudiante en particular. Mientras que en el siguiente ejemplo descrito por Laudelino ocurre la situación contraria:

Otro joven a pesar de haber hecho toda una clasificación en papel de los enlaces, cuando tenía que explicar algo, por ejemplo si [se forma] lluvia ácida o no, decía esa pregunta no la entiendo, ósea yo sé que el dióxido de carbono es covalente pero si forma ácido o no lo forma no, no lo entiendo, es más no sé porque es gas.

En este ejemplo podemos ver reflejado el resultado de un modelo de enseñanza tradicional, que impide a los alumnos hacer conexiones no sólo con sus vivencias o el mundo que los rodea sino que también con otros conceptos. Laudelino considera que el éxito de su discurso didáctico depende de las conexiones que se pueden establecer con otros fenómenos, conceptos, disciplinas, solo así puede consolidarse, transformarse e integrarse al pensamiento de sus alumnos (**pregunta 10**):

Entonces creo que es en mucho como se forman conexiones con fenómenos que pueden vivenciar. ¿Qué tan trascendente es la información que estoy utilizando? ¿Me sirve para construir otras cosas y tiene conexión con otras aéreas del curriculum y con la vida misma? Si es así, tiende a conservarse, a consolidarse si sólo es el discurso didáctico de la disciplina estoy condenado al fracaso, porque si esta chido, pero no sirve para nada más.

Sumado a las dificultades o limitaciones presentadas por los alumnos, se encuentran las asociadas al profesor (**pregunta 5**). Inicialmente Laudelino asoció estas limitaciones con los rasgos propios de su personalidad, pero posteriormente interpretó esta pregunta como una mirada retrospectiva a la evaluación de su práctica docente; con lo cual su respuesta es de una mayor riqueza:

Me hace una pregunta que es difícil que yo pueda responder por un asunto eminentemente de lógica interna, no puedo auto observarme, si podré identificar algunas cosas que sean buenas o malas en mi persona y que pueden ser rasgos de personalidad. Si lo hago bien o mal no lo sé; pero voy a intentar interpretar esa pregunta porque ciertamente es una pregunta muy difícil de contestar, porque implica ver cómo es la evolución de uno como docente en el tiempo.

Después de lo dicho anteriormente, Laudelino comenta que en sus primeros años de docente buscó profundizar más en el conocimiento disciplinar que él poseía; además reconoce que el propósito de continuar estudiando ha sido una constante. En la literatura se afirma que un incremento en el conocimiento disciplinar ayuda en el desarrollo del CPC (Gess-Newsome, 1999). Lo que parece indicar que desde el inicio de su desarrollo profesional Laudelino tuvo un fuerte compromiso, acompañado de una verdadera vocación que le llevó a estudiar y preocuparse realmente por sus estudiantes:

En mis primeros dos años de docente, mi primer interés fue precisamente tratar de resolver las dudas que yo tenía de enlace, entonces lo que más he estudiado es enlace y ciertamente creo que no lo he hecho tan mal. Reconozco toda esa serie de dificultades y estoy tratando de buscar la manera de subsanarlas.

Por otra parte, aunque reconoce la importancia de las ideas previas para la estructuración del discurso didáctico, señala otros aspectos de igual importancia: el acceso de los alumnos a fuentes de información confiables, el desarrollo de un criterio que les permita discriminar y utilizar la información que se les presenta en su beneficio. La inquietud de desarrollar estas habilidades también las comparte con sus alumnos, pero desde otra perspectiva. Posteriormente nos habla de otra limitación que considera posee, al hacerlo refleja el pensamiento que tiene acerca de los alumnos y el proceso de enseñanza- aprendizaje:

¿Qué cosas me resultan difíciles para que los chicos lo aprendan mejor, de manera eficiente? si pudiéramos ponerlo así, tal vez el modelo de enseñanza que práctico y que creo que es el del colegio. Yo parto de que la base para poder estructurar el discurso si son las ideas previas, pero otra cosa es que los chicos sepan acceder a la información de manera autónoma y es algo que ciertamente los chicos de bachillerato les cuesta mucho trabajo en los primeros años hacer. ¿Cómo accedo a fuentes confiables de información? ¿Cómo sistematizo esa información? Para que me digan cosas que me sean útiles en la clase y ¿cómo puedo estos ejemplos ponerlos en práctica en situaciones que [el alumno] pueda reconocer todos los días?

Creo que esa es la bronca que tengo, el discurso didáctico sobre enlace puedo decir que lo tengo más o menos dominado, más o menos resuelto, pero en la práctica la manera en la cual los chicos recuperan este discurso didáctico y lo traducen para ellos mismos no necesariamente es la mejor. Seguramente hay distorsiones en el momento en el cual ellos transponen la información y la reconstruyen para ellos mismos y el canal de regreso de la información a lo mejor no es tan eficiente.

Las palabras empleadas por Laudelino: traducen, reconstruyen o reconstituyen, indican que la visión del profesor sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje, está influenciado por un enfoque constructivista; en el que los alumnos reconstruyen la información recibida en clase desde la interacción entre su conocimiento previo y sus experiencias. Finalmente, nadie mejor que el propio Laudelino para resumir las ideas expuestas anteriormente. El primer punto depende en gran medida de un correcto entendimiento disciplinar, el segundo si tiene que ver con cuestiones pedagógicas y el tercero con la evaluación:

Tratando de sintetizar todo este rollo mareador, diré que uno de los problemas es como se estructura la información por el alumno, como la estructuro yo en el discurso didáctico para el alumno y como recupero que tan eficiente es este discurso. Creo que esos son los tres problemas que tendría que resolver.

Por otra parte, al preguntársele sobre los procedimientos, analogías, ejemplos, practicas o estrategias que emplea para la enseñanza de los temas (**pregunta 8**) su respuesta se convirtió en un discurso sobre su secuencia, las variaciones entre lo que se dice aquí y lo que se hizo en el aula son mínimas, algunas actividades no se realizaron dentro del período de observación pero si se encontraron referencias a estas en la secuencia. La actividad inicial es la identificación de metales y no metales según sus propiedades:

En principio, hay una búsqueda de información documental sobre características de metales y no metales, esto como una manera de ver expresamente las propiedades de los materiales. Posteriormente ven las características de los materiales que no tienen porqué parecerse a los modelos que ellos traen estructurados.

Por ejemplo, ellos dicen los metales son brillantes, son maleables, son dúctiles y además atraen los imanes, entonces les doy trozos de calcio, sodio y azufre y cuando he tenido fósforo, que no lo tengo, fósforo. Órale dime ¿Cuál es metal y cuáles no metal con eso que dijiste? No pueden no les alcanza. Entonces hay un choque muy brusco contra estas ideas que son previas pero que también son concepciones alternativas. "Todos los metales son atraídos por imanes", pues no.

Entonces ya ponernos a la palestra otras dos propiedades que son brillo y conductividad eléctrica y ciertamente ven brillo, pero en el sodio no lo ven hasta que lo parten, [y quitan el óxido] entonces le pegamos a una primera idea: "los metales son duros", no, no todos, los metales son brillantes sí, pero el yodo [que es un no metal] también es brillante.

En la actividad anterior el profesor pretende que los alumnos hagan explícitas sus ideas al respecto con los resultados obtenidos de la nueva experiencia. A continuación, se habla de las propiedades periódicas (igual que lo hace el profesor Aureliano) y de los óxidos. Recordemos que este tema es el que señala el programa del CCH como el detonante para hablar de enlace:

Entonces vemos que los comportamientos en la tabla periódica cambian, hacia arriba tengo no metales, hacia abajo tengo comportamientos medio metálicos y

luego pues hacemos combustiones e identificamos que la gran mayoría de los óxidos metálicos forman sólidos. Entonces empiezan a reconstruir el asunto de las propiedades. Trabajan un poco el discurso de propiedades de óxidos metálicos, óxidos no metálicos e introducen el concepto de enlace como formación o estructuración de uniones entre partículas.

Posteriormente, Laudelino empieza a establecer relaciones entre las propiedades y la estructura atómica (modelos atómicos). La descripción de dichas relaciones lo plantea en los siguientes términos:

No me aviento el rollo de átomos porque eso viene después ahora ¿por qué se unen las partículas? pues no tenemos idea, sólo sabemos que se unen. Identificamos que tenemos modelos de átomos que tienen ciertas características [...] entonces nos metemos con Thompson, hablamos de carga eléctrica y de que la carga eléctrica si permite hablar ahora si de que hay una unión entre átomos. Ya que tienen la idea de que hay carga eléctrica y de que hay átomos y que esta carga se puede distribuir de manera desigual, construimos un primer acercamiento al concepto de enlace. [...]

Llegamos a Bohr y en Bohr podemos hablar precisamente de este comportamiento idiosincrático de los gases nobles esta famosa configuración s^2p^6 que no la vemos como s^2p^6 solo decimos la regla del octeto de Lewis y con la regla del octeto aproximarnos al concepto de completitud de la carga de valencia.

Posteriormente introduce cada modelo de enlace, en ellas la electronegatividad es el concepto auxiliar en la descripción de cada uno de ellos:

- ✓ **Iónico:** *Si me pasó de carga pierdo electrones quedó positivo, si me falta carga tomo electrones y me quedo negativo ¡pum! diferencias de carga, posibilidad de atracción y entonces tengo el enlace iónico.*
- ✓ **Covalente:** *el asunto es a mí me falta y a ti te sobra compartimos nuestras miserias y entonces ya empiezo a hablar de covalencia, pero hay gandayas [elementos muy electronegativos] y entonces el gandaya jala más y el menos gandaya jala menos y entonces el más gandaya queda negativo porque empieza a robar al electrón, el menos gandaya no quiere perder está jaloneando al electrón pero eso hace que haya una diferencia de carga entonces hablamos de **covalencia polar**.*
- ✓ **Metálico:** *el asunto lo puedo resolver un poco con los imanes diciendo que al fin de cuentas los electrones son pegamento. Ok si tengo dos iones positivos los electrones van a estar funcionando como ese pegamento entre esos iones, como los metales tienen muchísimos electrones tienden a soltarlos, pero al quedarse sueltos queda todo el átomo con carga positiva, aunque sea eléctricamente neutro. Entonces entre dos iones positivos la manera más fácil de acomodar la carga es que los electrones funcionen como pegamento, pero además sean móviles y en ese*

sentido los metales exhiben esas propiedades. Los puedo torcer porque esos electrones pueden resbalar entre átomos y entonces la red se puede deformar sin romperse.

Por otra parte, las formas específicas que Laudelino utiliza para evaluar el entendimiento o confusión de los estudiantes sobre el concepto (**pregunta 9**), son similares a las empleadas por el profesor Aureliano, esto puede deberse a que ambos docentes siguen la normativa dictada por la institución. En el caso de Laudelino, él realiza una asociación de palabras en la que se busca la respuesta espontánea de los alumnos, sin duda en este ejercicio emergen muchas de las concepciones alternativas o los conocimientos previos que ellos poseen; las respuestas de dicho ejercicio no son retomadas ni discutidas más adelante. La actividad es complementada con una revisión documental, por lo cual los alumnos de antemano cuentan con información al respecto.

Hay varias cosas. El que lo aprendieron es todo un proceso del cuál al final nunca quedó seguro y lo digo con total franqueza nunca sé que tanto aprenden, pero de principio voy documentando algunas cosas. Hay una sesión en la que abrimos, que acabo de abrir este día, donde a través de una lista de asociación de palabras pongo a que reflexionen sobre conceptos como: átomo, molécula, ion, carga eléctrica, ¿no? Y ellos dicen lo que se les puede y buenamente se les ocurre sobre estos ¿no?

Después vamos documentando a partir de la literatura, ¿qué es unión?, ¿qué es una molécula?, ¿qué propiedades son interesantes para estudiar iones, moléculas y átomos? ¿Qué son: radio atómico, radio iónico, energía de ionización y electronegatividad?

Con electronegatividad empezamos a trabajar el modelo de Pauling para hacer esta clasificación dicotómica [iónico/covalente] y entonces ellos van estructurando productos, que de alguna manera son como prerrequisitos para ir llegando al asunto de cómo las propiedades se relacionan con el enlace.

Al cierre de la secuencia realiza una actividad experimental de predicción, nuevamente la elaboración de un informe durante el tiempo de clase es el instrumento que tiene un mayor peso dentro de la evaluación. Ambos profesores consideran que aportan información significativa sobre el aprendizaje de sus alumnos; aunque duden de su conveniencia. Laudelino incluso parece algo

inconforme con el cierre de su propuesta de enseñanza porque es consciente de que puede reproducir ideas erróneas sobre el enlace.

El cierre al final y que ciertamente reproduce esta idea de que las cosas se comportan según el modelo de enlace, es que tienen con base en una estructura de Lewis que ellos investigan de sustancias que yo les digo de principio, identificar: son solubles o no, si conducen o no y como esperarían que fuera su punto de fusión bajo ciertas condiciones; es una actividad de predicción, entonces ver que tanto la sustancia se aproxima al modelo, cuando debería ser al revés que tanto el modelo predice las condiciones de la sustancia, pero perdón el plan de estudios me mueve para otro lado no para el que yo quiero.

En términos generales lo que hacen los chicos es con base en este modelo que está más o menos robusto, predicen y lo hacen moderadamente bien, también utilizo, sustancias prototípicas ¿no?, cloruro de sodio, naftalina, glucosa... e individualmente elaboran un informe, si bien discuten los resultados en equipos, en él deben de argumentar el tipo de enlace que presenta la sustancia con base en los resultados que obtuvieron y si las predicciones hechas fueron correctas o no y porque.

Para finalizar con la respuesta dada a esta interrogante, el profesor hace una pequeña reflexión en la que se aprecia que a pesar de los defectos de su secuencia y de las herramientas de evaluación empleados, considera que sus alumnos logran alcanzar un entendimiento óptimo del enlace:

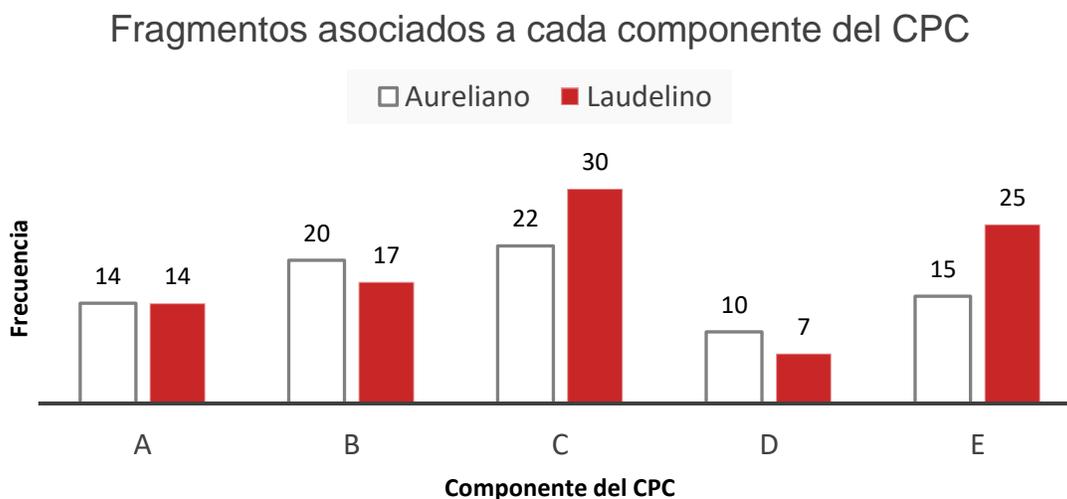
La mayoría de ellos si se van con la idea de que dos modelos de enlace no son suficientes y que los enlaces químicos son algo mucho más interesante. Digo desde el punto de vista químico, no tanto interesante para ellos en sus vivencias personales pero si es más rico de lo que se ve en el curso.

Y es que también el interés por lograr que los temas vistos en clase se conecten con su vida cotidiana (**pregunta 10**) es un reto del quehacer docente, que Laudelino dice enfrentar a través del uso de ejemplos de sus vivencias, de la discusión de temas de actualidad o de anécdotas relacionadas al desarrollo de un concepto en particular.

3.3 Los componentes y subcomponentes del CPC

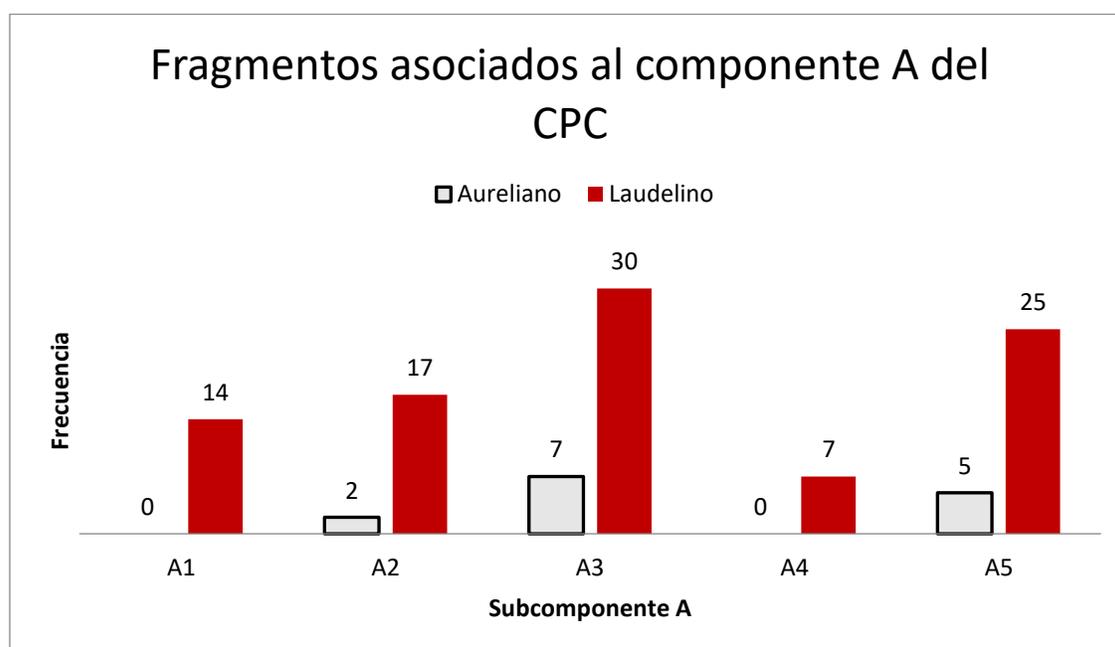
Cada una de las entrevistas fue analizada y codificada según la propuesta de Padilla y Van Driel (2011). Los resultados obtenidos se encuentran en la **Gráfica 1**; donde se puede apreciar el número total de fragmentos asociados a cada componente del CPC; con excepción del C y D, es similar para ambos docentes. La máxima frecuencia obtenida fue para el componente C relativo al conocimiento del entendimiento científico de los estudiantes; mientras que el componente D asociado a la evaluación tiene una frecuencia mínima.

Dentro del componente A (orientaciones), para el profesor Aureliano se encontraron un total de 16 fragmentos; entre ellos, los subcomponentes **A3** y **A5** con una orientación hacia la enseñanza de la ciencia en la *didáctica* y *las actividades dirigidas* respectivamente, son las que presentan una mayor frecuencia (ver **Gráfica 2**). Según lo anterior y lo observado durante las sesiones, Aureliano presentó la información a través de una pregunta guía o discusión (**A3**) e incorporó actividades para la verificación (**A5**). Por otra parte, el subcomponente **A2** (rigor académico) cuenta, con sólo dos fragmentos asociados; tampoco fue posible relacionar algún fragmento de la entrevista con los subcomponentes **A1** (proceso) y **A4** (cambio conceptual).



Gráfica 1. Número de fragmentos asociados a cada uno de los componentes del CPC para cada uno de los profesores estudiados.

En el caso del profesor Laudelino, el subcomponente **A1** (proceso) y **A2** (rigor académico) son los que cuentan con una mayor frecuencia. En el primer subcomponente (**A1**), el profesor introduce a los alumnos en el proceso de pensamiento empleado por los científicos; situación que Laudelino manifestó desde los primeros minutos de la entrevista, al afirmar que a través del enlace se pueden *aplicar modelos, [...] construir la idea de cómo opera la ciencia y como explica cosas*. Continuando con los resultados obtenidos, el segundo subcomponente que tiene una mayor frecuencia es el **A2**; el cual está relacionado con un estilo de enseñanza en el que los estudiantes son retados con problemas y actividades difíciles, con el objetivo de mostrar la relación entre los conceptos y el fenómeno. Únicamente el subcomponente **A3** no pudo ser relacionado con ningún fragmento de la entrevista (ver **Tabla 18**).



Gráfica 2. Número de fragmentos asociados al componente A del CPC para cada uno de los profesores estudiados.

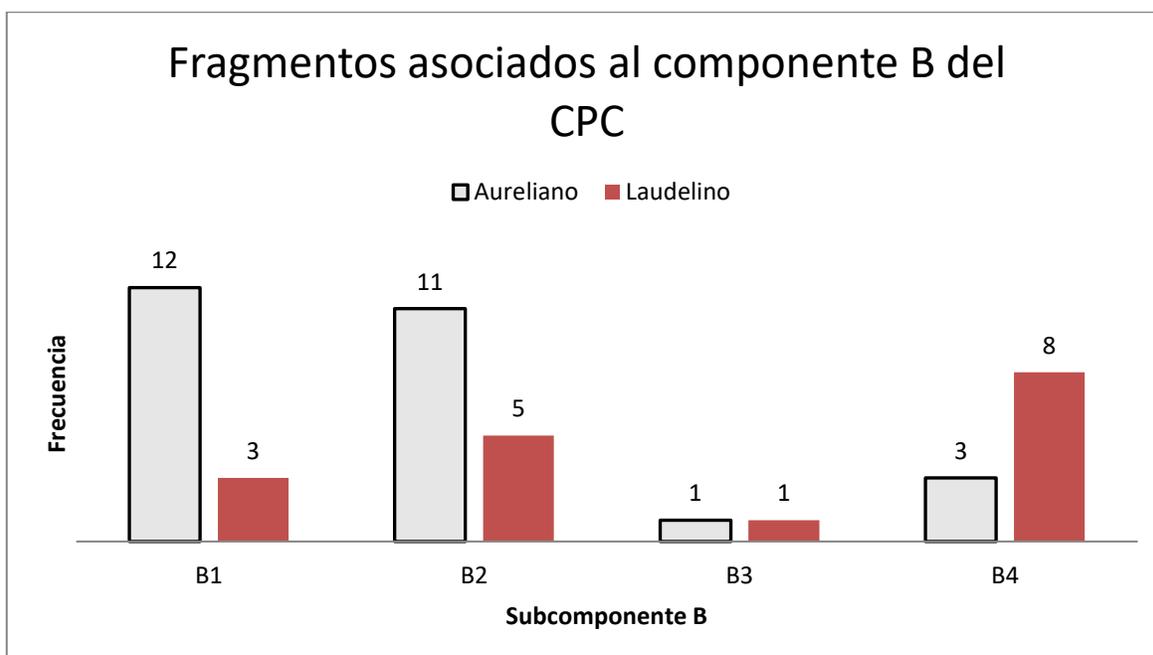
Por lo expresado en la entrevista, se aprecia que ambos docentes buscan o aspiran a practicar un modelo de enseñanza centrado en el alumno. Sin embargo, aún es posible ver la incorporación de algunas características propias de un modelo

de enseñanza tradicional. Por último, es importante aclarar, que los resultados obtenidos únicamente pueden ser interpretados para el tema en cuestión en el momento y contexto específico en que se llevó a cabo el presente trabajo; esto no significa que el estilo de enseñanza de cada uno de los profesores no posea características que puedan ser asociadas a cada uno de estos subcomponentes.

Tabla 18. Algunos fragmentos asociados a los subcomponentes A del CPC para cada uno de los profesores entrevistados.

	Subcomponente			
	A2 Rigor académico	A3 Didáctica	A5 Actividades dirigidas	
Aureliano	<i>Cuando hacen agua de limón ¿da lo mismo disolver primero el limón y luego la sacarosa? ¿O al revés? [...]</i>	<i>Para los cambios de estado les pregunto ¿Por qué el hielo flota?</i>	<i>Hacemos un experimento donde pongo sustancias [...] entonces identifican conductividad eléctrica ...</i>	
	A1 Proceso	A2 Rigor académico	A4 Cambio conceptual	A5 Actividades dirigidas
Laudelino	<i>Nos aproximamos al estudio de la naturaleza a través de los modelos</i>	<i>¿Cómo se comportan los materiales y sus propiedades? ¿Qué problemáticas se pueden explicar a través de estas?</i>	<i>Díganme ¿Cuáles son metales y cuáles no metales con eso que investigaste?</i>	<i>Al final hacen un experimento de predicción, donde miden las propiedades de algunas sustancias prototípicas</i>

El componente B del CPC cuenta con cuatro subcomponentes que están relacionados con el conocimiento del currículum, de los objetivos y directrices de enseñanza, dentro de una asignatura en particular. Ambos docentes conocen profundamente el currículum que el CCH establece para la asignatura y algunas de sus acciones son resultado directo de su influencia, por ejemplo: a través del estudio de los óxidos se debe introducir el estudio del enlace (**B2** y **B3**) o la omisión de temas que deben ser revisados un curso posterior, como el enlace metálico (**B3**, ver **Tabla 19** y **Gráfica 3**). Es decir, los docentes entrevistados han desarrollado a lo largo de los años un amplio conocimiento del contexto en el que trabajan.



Gráfica 3. Número de fragmentos asociados al componente B del CPC para cada uno de los profesores estudiados.

Tabla 19. Algunos fragmentos asociados a los subcomponentes B del CPC para cada uno de los profesores entrevistados.

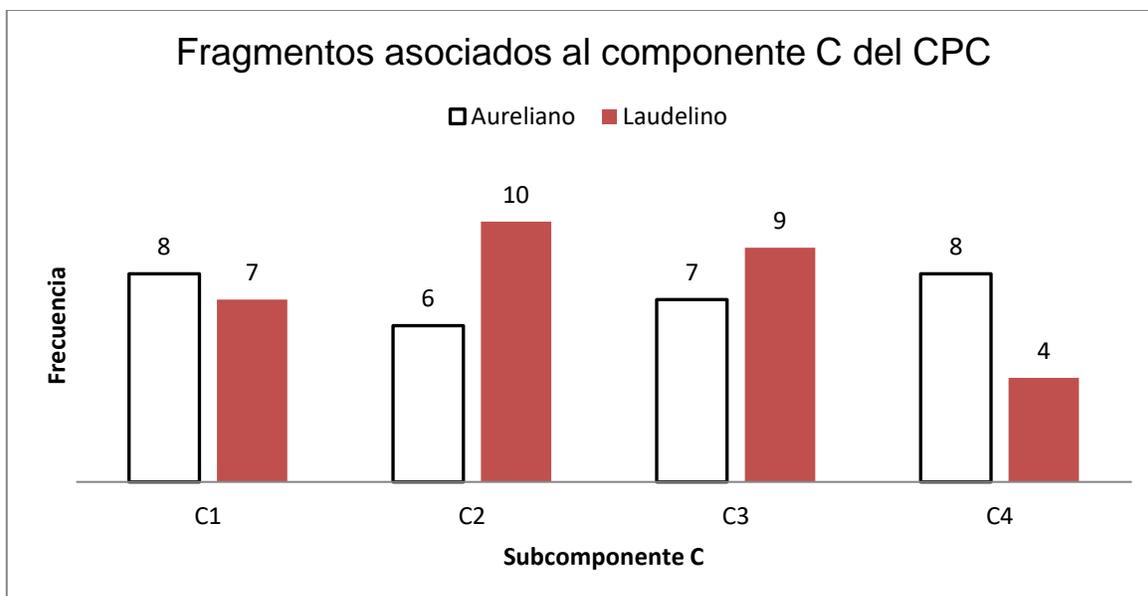
	Subcomponente			
	B1	B2	B3	B4
	Conocimiento de los objetivos y metas de enseñanza		Conocimiento del currículum específico	
Aureliano	<i>Me importa que entiendan que en una reacción química hay ruptura y formación de enlaces y ahí hay energía involucrada</i>	<i>[Entender] la implicación que tiene un enlace en las propiedades de los materiales [...].</i>	<i>La idea que traen de secundaria de que todas las reacciones exotérmicas liberan energía...</i>	<i>Aquí en el CCH el enlace metálico no se aborda en el primer año.</i>
Laudelino	<i>Reconocer el papel de los modelos.</i>	<i>Explicar el enlace en términos de la electronegatividad de Pauling</i>	<i>Los chicos en el bachillerato y aún en la licenciatura tienen problemas para entender que la materia es discreta</i>	<i>En el plan de estudios se priva el estudio de los modelos antes que de la naturaleza</i>

Si bien es cierto que ambos profesores declararon objetivos, metas o directrices de enseñanza donde se busca alcanzar la comprensión de contenido disciplinar en particular; únicamente en el caso de Laudelino se observó la declaración de metas u objetivos dirigidos acordes con un estilo de enseñanza que busca introducir a los estudiantes en la adquisición de habilidades propias del quehacer científico (**A1**).

En lo relativo al conocimiento del entendimiento científico de los estudiantes (componente C del CPC); ambos docentes conocen los prerrequisitos, las habilidades o herramientas que son necesarias para aprender un concepto en particular (**C1**), las concepciones alternativas o visiones de los estudiantes al respecto (**C2**); así como las dificultades a las que se enfrentan los estudiantes durante el aprendizaje de un concepto en particular (**C3**, ver **Tabla 20** y **Gráfica 4**).

Aureliano durante la entrevista expresó que la principal dificultad para la enseñanza del enlace es el alto nivel de abstracción que el concepto posee, mientras que para sus alumnos el bajo desarrollo del pensamiento abstracto es su principal limitante para su aprendizaje (**C1** y **C3**). Aunque las afirmaciones realizadas por Aureliano pudieran ser ciertas, el hecho de que las exprese como la principal limitación tanto para la enseñanza como para el aprendizaje; pudiera indicar que se trata a su vez de una fuerte creencia que posiblemente asocia al proceso de enseñanza-aprendizaje (**C4**). Situación, que sumado a lo anterior, juega un papel determinante en la estructura de su secuencia y cuya influencia fue discutida anteriormente.

En el caso del profesor Laudelino, se observó que conoce un número más amplio de causas, aproximaciones, visiones y limitaciones que los alumnos poseen alrededor de los conceptos que considera centrales para la enseñanza del enlace. Las creencias que posee acerca de los que los estudiantes deberían aprender; están fuertemente asociadas a las limitaciones que también posee el programa de estudios vigente en el CCH (componente B). Por ejemplo: A los estudiantes les es difícil reconocer las limitaciones que cada modelo de enlace tiene; cuestión que el programa de estudios tampoco reconoce.



Gráfica 4. Número de fragmentos asociados al componente C del CPC para cada uno de los profesores estudiados.

Tabla 20. Algunos fragmentos asociados a los subcomponentes C del CPC para cada uno de los profesores entrevistados.

	Subcomponente			
	C1 Conocimiento de los requerimientos para el aprendizaje: Prerrequisitos	C2 Aproximaciones o visiones de los estudiantes	C3 Conocimiento de las dificultades del estudiante	C4 Creencias acerca de lo que los estudiantes saben o no o de cómo aprenden
Aureliano	<i>Durante los cambios de estado, las moléculas se hacen más grandes [...]</i>	<i>En una reacción química la energía se libera al romper el palito</i>	<i>El pensamiento abstracto de los alumnos esta poco desarrollado</i>	<i>Lewis, a veces lo doy a veces no. Lewis me cae gordo</i>
Laudelino	<i>[A los alumnos] les es difícil reconocer el carácter eléctrico de la materia</i>	<i>Explican que hay propiedades pero no recurren a modelos de enlace</i>	<i>Reconocer que la reactividad en agua afecta la caracterización del enlace</i>	<i>Los modelos de enlace al ser dicotómicos son muy limitados</i>

El número de fragmentos asociados a este componente (61 en total) es amplio y variado, se puede concluir que los docentes evaluados cuentan con un conocimiento sólido de las dificultades y limitaciones asociadas al entendimiento científico de los estudiantes.

En lo relativo a la evaluación, ambos docentes, inician cada tema con una actividad diagnóstica en la que recogen el conocimiento previo de los estudiantes, a continuación les solicitan a los alumnos varios trabajos de investigación documental, ejercicios diversos de lápiz y papel, entre otros. Por cada tema visto, realizan por lo menos una actividad experimental y un examen; en los que recae el peso de la evaluación. Sin embargo, el informe experimental es el instrumento de mayor importancia; esto se debe, a que es elaborado durante el tiempo de clases en equipo (para el caso de Aureliano) o individualmente (para el caso de Laudelino). Los alumnos reciben retroalimentación continua durante la redacción de este documento, situación que los profesores aprovechan para escuchar pacientemente las dudas o comentarios, y reflexionar sobre la eficacia de la secuencia propuesta.

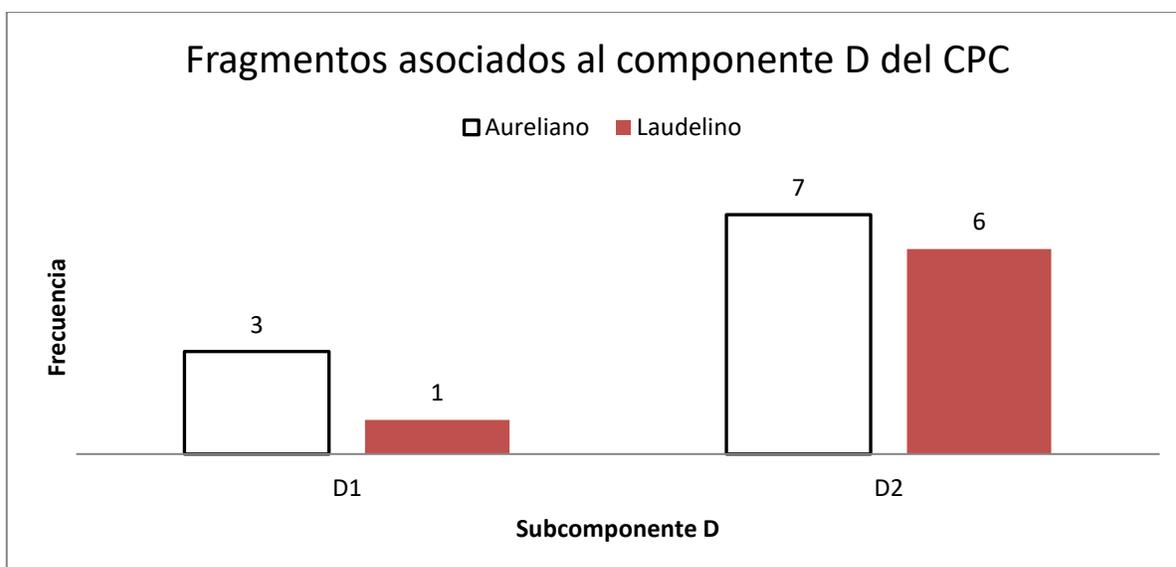
Laudelino evalúa en el informe que acompaña a la actividad experimental final; la relaciones que los alumnos elaboran en torno a los diferentes conceptos vistos en clase, el correcto manejo de los datos obtenidos y la argumentación de sus conclusiones. Por su parte Aureliano dice emplear la actividad inicial no tanto para evaluar o conocer las ideas previas y/o concepciones alternativas de sus estudiantes sino para brindarles un punto de partida, una oportunidad para la reflexión y la metacognición en ellos. Fuera de este ejercicio no se detectó ni en la entrevista ni en la observación de las sesiones otro momento o instrumento en el que se promoviera la autoevaluación, la coevaluación o la metacognición.

Según lo expuesto en el marco teórico del presente trabajo, los componentes A y D guardan una estrecha relación entre sí, los métodos de evaluación que un profesor emplea son consistentes con el estilo de enseñanza que practique (pág. 32). Es decir, un profesor con un estilo de enseñanza fuertemente tradicional evaluará a sus alumnos con instrumentos convencionales: exámenes, tareas o trabajos escolares, de forma sumativa; mientras que un profesor que practique otro estilo de enseñanza probablemente empleará diversos instrumentos de evaluación, autoevaluación y/o coevaluación⁴. Adicionalmente, verá en la evaluación un medio más para facilitar el aprendizaje de sus estudiantes.

⁴ En el presente trabajo se entiende por autoevaluación cualquier acción que el alumno realiza para evaluar su propio aprendizaje y por coevaluación cualquier acción en la que un alumno es evaluado por sus pares.

Por lo declarado en la entrevista, los docentes en cuestión dicen incorporar distintas estrategias, algunas de ellas novedosas y poco convencionales dentro de un modelo de enseñanza tradicional (como la explicitación de sus ideas previas); sin embargo, esto no ocurre en el caso de la evaluación, la cual sigue siendo convencional. Considero que, lo anterior, no es resultado de la falta de conocimiento de estrategias más adecuadas para las demandas de la educación científica actual; sino por la influencia del componente B (conocimiento del currículo, normatividad, materiales y recursos didácticos del CCH), a la cual los docentes se adhieren.

Por lo relatado anteriormente; la evaluación que los docentes emplean no les permite aplicar un instrumento específico para evaluar el aprendizaje de un concepto en particular. A su vez, los profesores reconocen que este método de evaluación tiene sus debilidades o inconvenientes, que les impide entre otras cuestiones, conocer si la realización de una actividad tiene el impacto deseado en sus alumnos. Como resultado de la aplicación de un método de evaluación general, el número de fragmentos asociados al componente D es mínimo. El subcomponente **D2** relativo al conocimiento de los métodos de evaluación fue el que obtuvo una frecuencia mayor, mientras que las dimensiones que consideran o no importantes de evaluar (ver **Tabla 21** y **Gráfica 5**); está fuertemente relacionado a los conceptos que creen son importantes que los alumnos aprendan (subcomponente **D1**).

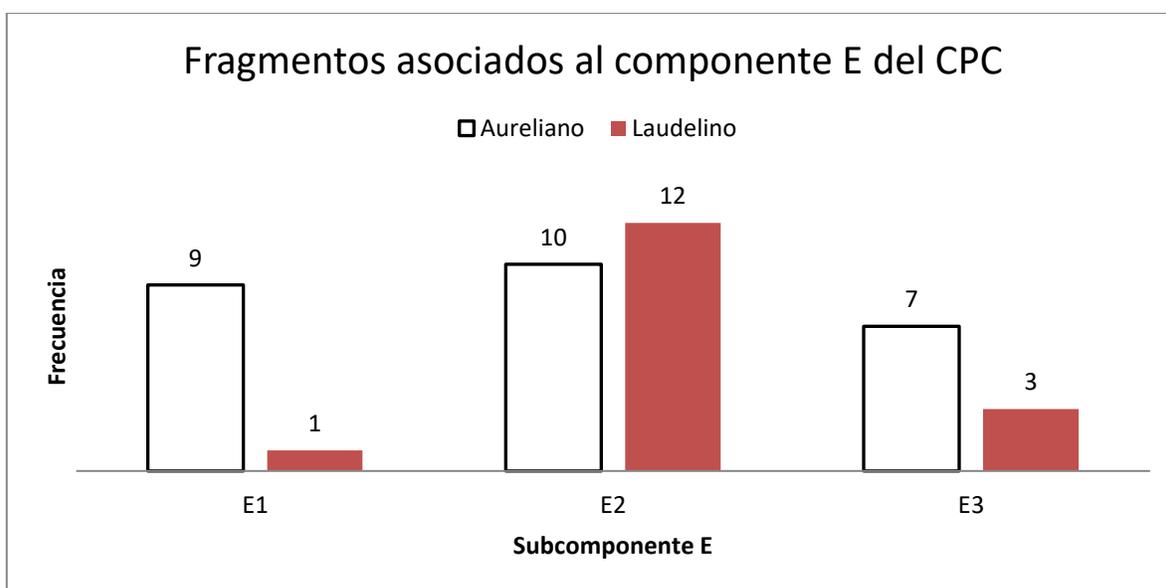


Gráfica 5. Número de fragmentos asociados al componente D del CPC para cada uno de los profesores estudiados.

El último componente del CPC que fue estudiado en la entrevista fue el E: conocimiento de las estrategias instruccionales (ver **Tabla 22** y **Gráfica 6**). La clasificación de las sustancias según la medición de sus propiedades es la actividad experimental (subcomponente **E3**) que específicamente se realiza para el tema del enlace químico; tanto en los docentes entrevistados como en los libros de texto consultados se observó la realización de esta actividad o alguna referencia a la misma. Actividad a la que Laudelino le realizó algunas modificaciones importantes: los alumnos debían hacer una predicción, medición y argumentación que les permitiera clasificar una muestra desconocida según un modelo de enlace en particular; con lo cual, deja de tratarse de una sencilla actividad de verificación (subcomponente **A5**). Continuando con el subcomponente **E3**, otras de las actividades que los profesores realizan, con cierta semejanza entre sí, es la medición o comprobación de las propiedades de los metales. Aureliano realiza una discusión a partir de una investigación documental (ver entrevista **preguntas 4, 5 y 6**), mientras que Laudelino reta a sus alumnos a verificar la información documental contra las propiedades que presentan una serie de muestras de diferentes metales (ver entrevista **pregunta 8**).

Tabla 21. Algunos fragmentos asociados a los subcomponentes D del CPC para cada uno de los profesores entrevistados.		
	Subcomponente	
	D1 Conocimiento de las dimensiones a evaluar del aprendizaje científico	D2 Conocimiento de los métodos de evaluación
Aureliano	<i>Las energías de enlace me parece que es algo que no debería de abordarse.</i>	<i>En el informe por equipos, sabes unas cosas pero las más importantes son las [evaluaciones] individuales.</i>
Laudelino	<i>El porqué de las formulas [químicas] es algo que no alcanzamos a revisar [evaluar]</i>	<i>En el informe me doy cuenta de que la forma en la que ellos [los alumnos] recuperaron y traducen la información no es la mejor</i>

En el caso de Aureliano, dice que emplea en varias ocasiones analogías antropomórficas para la representación (subcomponente **E2**) del enlace químico. Debido a la frecuencia con la que son empleadas y a la pequeña discusión que hace de las mismas, se puede afirmar que no son empleadas adecuadamente. La naturaleza de éstas será discutida a detalle al analizar su propuesta de enseñanza. Por su parte, Laudelino emplea un número mayor de recursos para la representación del tema (animaciones, ejercicios mentales, empleo de apps, entre otros) de los descritos durante la entrevista, los cuales pudieron ser observados durante la asistencia a sus sesiones.



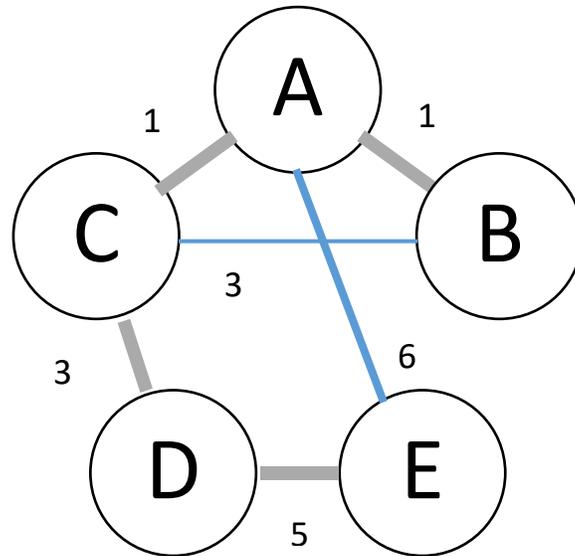
Gráfica 6. Número de fragmentos asociados al componente E del CPC para cada uno de los profesores estudiados.

De la realización de estas actividades, de las estrategias y representaciones empleadas, se observa que los profesores han incorporado actividades afines con un modelo de enseñanza centrado en el alumno o de tipo constructivista, a la vez que continúan realizando actividades convencionales.

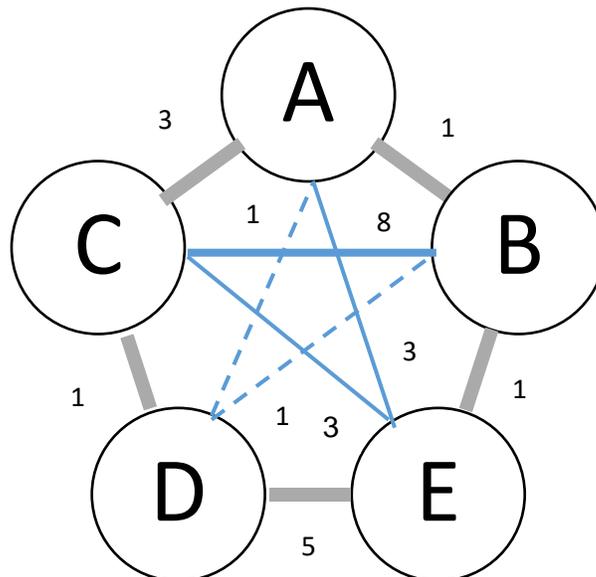
Tabla 22. Algunos fragmentos asociados a los subcomponentes E del CPC para cada uno de los profesores entrevistados.			
	Subcomponente		
	E1 Conocimiento de las estrategias específicas en la asignatura	Conocimiento de las estrategias específicas del tópico	
		E2 Representaciones	E3 Actividades
Aureliano	<i>Empiezo con una exposición de un problema y un experimento.</i>	<i>Tienes a veces que recurrir a decir “yo soy un átomo, tu eres otro átomo y nos tomamos de la mano”</i>	<i>Hacemos un experimento donde pongo sustancias [...] entonces identifican conductividad eléctrica ...</i>
Laudelino	<i>Iniciamos con una búsqueda de información documental.</i>	<i>Para el enlace metálico, el asunto lo puedo resolver diciendo que los electrones son pegamento.</i>	<i>Dime con eso que investigaste ¿Cuál es un metal y cual un no metal?</i>

3.4 Interconexiones entre los componentes del CPC

A partir de la presentación y análisis de los resultados obtenidos, a través de cada una de las entrevistas realizadas, ha sido posible establecer cualitativamente la presencia y frecuencia de cada uno de los componentes del CPC y algunas relaciones entre ellos. Con el propósito de profundizar y cuantificar dichas interconexiones se adoptó una forma de representación denominada: “*Mapa del CPC*” desarrollada en el año 2012 por S, Park y Ying-Chin Chen. Para su elaboración se colocó cada componente del CPC en un arreglo pentagonal, posteriormente se trazaron líneas de diferente grosor que conectan cada uno de los vértices del pentágono; representando así el grado de conexión entre ellos, adicionalmente se encuentra el número de fragmentos de la entrevista que están asociados a cada conexión posible entre componentes. De esta forma, se pueden visualizar las conexiones existentes entre los componentes del CPC para cada profesor en relación al tema del enlace químico.



Gráfica 7. Mapa de relaciones entre los distintos componentes del CPC para el profesor Aureliano. Donde A: Orientaciones para la enseñanza, B: Currículum, C: Conocimiento del entendimiento científico de los estudiantes, D. Evaluación y E: Estrategias y actividades.



Gráfica 8. Mapa de relaciones entre los distintos componentes del CPC para el profesor Laudelino. Donde, A: Orientaciones para la enseñanza, B: Currículum, C: Conocimiento del entendimiento científico de los estudiantes, D. Evaluación y E: Estrategias y actividades.

En el caso del profesor Aureliano, el resultado de dicho análisis se encuentra en la **Gráfica 7**; en ella se observa que no fue posible establecer conexiones entre todos los componentes del CPC. Las conexiones más significativas son:

1) Componente **C** (Conocimiento del entendimiento científico de los estudiantes) y **B** (Conocimiento del currículo), es decir, el profesor conoce a profundidad las dificultades, habilidades, prerrequisitos y concepciones alternativas los objetivos y su relación con las metas y materiales relativos a su enseñanza.

2) Componente **A** (orientaciones) y **E** (estrategias y actividades); las estrategias, representaciones y actividades empleadas por el profesor son coherentes con su estilo de enseñanza.

3) Componente **D** (evaluación) y **E** (estrategias y actividades); las estrategias, representaciones y actividades empleadas por el profesor para la enseñanza del tema también son empleadas para su evaluación, es decir, se les solicita a los alumnos que durante la evaluación repitan los resultados obtenidos en dichas actividades o representaciones.

Por otra parte, en la **Gráfica 8**, se encuentra el mapa de relaciones entre los distintos componentes del CPC para el profesor Laudelino. En este caso si fue posible establecer conexiones entre todos los componentes del CPC, si bien las conexiones más significativas presentaron un patrón semejante. Lo que parece indicar que ambos profesores conocen a profundidad las dificultades que los alumnos pueden presentar para alcanzar los objetivos planteados para la enseñanza del enlace (componente **C** y **B**) y emplean métodos de evaluación similares (componente **D** y **E**). Sin embargo, Laudelino presenta más consistencia en el planteamiento, diseño de actividades y métodos de evaluación acordes con su estilo de enseñanza (componentes **A**, **E** y **D**).

Finalmente es importante aclarar que estos resultados deben ser interpretados para el tema y el contexto en el que específicamente se realizó el estudio, recordemos que las conexiones entre los diferentes componentes del CPC no son lineales ni universales.

4. La enseñanza del enlace químico

Durante la entrevista no sólo fue posible documentar el CPC de cada uno de los profesores participantes sino también recoger las pautas principales de su propuesta de enseñanza del enlace químico: actividades, estrategias, experimentos, analogías, ejemplos y la selección de objetivos. Dichos lineamientos serán cotejados con lo observado durante la asistencia al número de sesiones en las que cada profesor impartió el tema; la valoración de su práctica docente se hará más adelante al presentar los resultados obtenidos del empleo del protocolo de observación.

Las coincidencias encontradas entre las propuestas de enseñanza hechas por los profesores y los libros de texto, se discutirán de manera conjunta. Sin embargo, al inicio de esta sección se describen y analizan las generalidades observadas en ellos y que nos permiten delimitar algunas de las características asociadas a una enseñanza tradicional del enlace químico. La pertinencia de los lineamientos de cada una de las propuestas de enseñanza presentadas por los profesores o por los libros de texto; serán discutidos tomando como referencia, las recomendaciones de la literatura al respecto.

4.1 Los libros de texto

En la **Tabla 23** se muestran los resultados obtenidos de todos los libros revisados, por cuestión de espacio sólo se menciona al primer autor, para ver los datos bibliográficos completos consultar el **Capítulo II: Marco Metodológico**. En el **Anexo II** se encuentran los formatos de evaluación de cada uno de los libros de texto empleados; los comentarios efectuados se encuentran en *itálicas* y dentro de corchetes rectangulares. En ocasiones también se incluyen figuras, tablas o esquemas, que fueron tomados del libro de texto evaluado.

En los diez libros de texto revisados se encontraron muchas características similares, que permiten trazar los aspectos generales de la enseñanza tradicional

del enlace químico. Existen particularidades encontradas en algunos títulos que guardan relación con los resultados presentados por los profesores. Por lo cual, serán presentadas y discutidas en conjunto, como lo son: el uso de analogías antropomórficas, los modelos, la regla del octeto y los aspectos históricos.

De todos los títulos revisados el Phillips *et. al.* (2000) es el que incluye el mayor número de los aspectos a evaluar, seguido por Rico *et. al.* (Química I, 2012), Garritz (1984) y Brown *et. al.* (2009). Es decir, son los títulos que no sólo consideran un mayor número de características del enlace, sino que también las desarrollan más ampliamente e incluyen otros aspectos fundamentales en la enseñanza de la ciencia (como los modelos), proporcionando así una visión amplia del tema con el nivel de profundidad adecuado para los alumnos en el bachillerato. Sin embargo, esto no significa que dichos textos estén exentos de deficiencias.

La secuencia de contenidos para la presentación del enlace químico varía mínimamente. Por lo general, en la introducción se menciona la regla del octeto, después se aborda el modelo del enlace iónico, seguido del covalente y se cierra el tema con el estudio de la electronegatividad y la polaridad. En la mayoría de los casos se relacionan las propiedades de las sustancias con el enlace, ya sea al inicio del tema o a lo largo del capítulo; estas al igual que la electronegatividad y la polaridad son empleadas como criterios para la clasificación del enlace en iónico, covalente o covalente polar. En ocasiones se incluyen tablas para facilitar esta tarea. Invariablemente al final de la secuencia mencionada, se presenta el enlace metálico. Sin embargo, el programa de estudios del CCH indica que los modelos del enlace iónico y covalente forman parte del temario de Química I, mientras que el enlace metálico se ubica dentro del temario de Química II. Los libros de texto editados por el colegio, cumplen con lo anterior. En la **Tabla 24** se encuentra un resumen de las muchas similitudes encontradas durante el desarrollo de cada uno de los modelos de enlace químico en los libros de texto consultados.

¿Qué es el enlace químico? los títulos seleccionados usualmente lo definen como la unión entre átomos o la fuerza que mantiene unidos a los átomos; los autores también señalan que esta unión es el resultado de que los átomos cedan, reciban o compartan sus electrones de valencia. Por su parte, Garritz y Rico, son

los dos únicos autores que definen al enlace como una fuerza electrostática, los demás únicamente lo hacen en la descripción del enlace iónico. También fue posible observar que existen cinco definiciones diferentes para cinco modelos de enlace distintos: covalente, covalente polar, covalente puro (o covalente no polar), iónico y metálico; de todos ellos, este último es omitido con frecuencia. Ante tal diversidad de enfoques los alumnos pueden desarrollar la visión de que cada tipo de enlace es de *distinta naturaleza*.

Prácticamente en todos los títulos se expresa que las propiedades de las sustancias están determinadas por el enlace. Por lo tanto, los compuestos iónicos y covalentes exhibirán marcadas diferencias; las propiedades de los metales son descritas por separado y difícilmente se les relaciona con el enlace. Las propiedades que generalmente son empleadas para este fin son: el punto de fusión la solubilidad en agua y la conductividad eléctrica en sólido y disolución; en menor medida se incluye el estado de agregación; a partir del estudio de estas propiedades se afirma que: los compuestos iónicos son sólidos cristalinos, mientras que los covalentes son moleculares o gases. El cloruro de sodio es la sustancia iónica prototípica empleada por unanimidad, para el enlace covalente la molécula de hidrógeno es uno de los más empleados.

El conocer o determinar las propiedades de un compuesto es uno de los criterios que permite su clasificación porque: *“si conoces el tipo de enlace que hay en un compuesto, puedes predecir muchas de sus propiedades físicas [...] También puedes razonar en sentido opuesto: si conoces las propiedades físicas de un compuesto desconocido, puedes predecir su tipo de enlace”* (Phillips, 2000, pág. 130). Según este razonamiento, es justificable realizar una actividad en la que se verifique la concordancia entre el modelo de enlace y las propiedades de la sustancia. Lo anterior, se ve reforzado por la presentación de unas cuantas sustancias prototípicas que exhiben, con ligeras variaciones, las mismas propiedades asociadas a un modelo de enlace en particular; facilitando así, su clasificación sin *ambigüedad*.

Tabla 23 Resultados obtenidos de los formatos de evaluación de libros de texto.										
Aspecto	Primer Autor									
	Brown	Chang^a	Chang^b	García	Garriz	Gutiérrez^c	Gutiérrez^d	Phillips	Rico^e	Rico^f
1. ¿En la introducción del texto y/o del tema se habla de los modelos y de su uso en ciencias?					Si			Si	Si	
2. ¿De forma general se relacionan las propiedades de los compuestos con su tipo de enlace?	Si	Si	Si	Si	Si	Si		Si	Si	
3. ¿Existen referencias a algún aspecto histórico?						Si		Si	Si	
4. ¿Se da una definición general del enlace químico?	Si			Si	Si	Si	Si	Si	Si	
5. ¿Se habla del carácter iónico, covalente o metálico de los compuestos?	Si	Si	Si	Si	Si			Si	Si	
6. ¿Cómo una introducción al modelo de enlace iónico se hace énfasis en la formación de los iones?	Si	Si	Si	Si	Si			Si	Si	Si
7. ¿Se mencionan las limitantes que tiene la regla del octeto?	Si	Si			Si			Si		
8. ¿El texto plantea las limitantes de los modelos de enlace o la existencia de enlaces intermedios?	Si							Si		
9. ¿Explican las propiedades de los metales a través del modelo del mar de electrones?	Si				Si			Si		
10. ¿Introduce alguno de los conceptos siguientes para explicar o describir los aspectos del enlace? a) polaridad b) electronegatividad	Si		Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

^aTítulo: *Fundamentos de química*. ^bTítulo: *Química*. ^cTítulo: *La química en tus manos*. ^dTítulo: *La química en tus manos II. Ciencias físico-matemáticas y de las ingenierías*. ^eTítulo: *Química I. Agua y Oxígeno*. ^fTítulo: *Química Segundo curso para estudiantes del Bachillerato del CCH*.

Difícilmente se discute que las propiedades empeladas, para la clasificación del enlace, no guardan una relación lineal con ningún modelo de enlace; que existen un gran número de compuestos que de acuerdo a otros criterios, como la diferencia de electronegatividad, podrían considerarse de cierto tipo de enlace pero exhibe propiedades distintas.

Adicionalmente, existen dos criterios más para la clasificación del enlace: la polaridad que se emplea para la diferenciación del enlace en covalente o covalente

polar y la electronegatividad, que permite cuantificar el carácter iónico o covalente de un enlace. Ambos criterios son empleados para el estudio de moléculas binarias heteroatómicas, sin discutir o profundizar en las características o los fundamentos teóricos que lo acompañan. Sin embargo, en la mayoría de los títulos seleccionados señalan que a pesar de estos esfuerzos es necesario comprender que hay un continuo entre el enlace iónico y el covalente, porque no existe un enlace 100 % iónico o covalente ni una separación tajante entre ellos (Chang, 1999 y 2011). En contraparte, pocos son los títulos que discuten algunas excepciones evidentes a estos criterios, algunos alótropos del carbono como el diamante, el carbono y el grafito, así como el silicio y el germanio, en donde se forma una red, aún cuando su enlace sea *claramente* covalente (Brown, 2009). Es decir, tampoco se discute que existen compuestos covalentes reticulares y no únicamente covalentes moleculares.

Este afán de clasificación que los libros presentan, se replica en las aulas en mayor o menor medida, trae consigo consecuencias en la manera de percibir la extraordinaria gama de propiedades que presentan los materiales en general, la diversidad de estructuras químicas, dificultando así el entendimiento del enlace.

Tabla 24. Características de cada modelo de enlace químico descritas en los libros de texto seleccionados.			
Característica/ Modelo	Iónico	Covalente	Metálico
Sustancia Prototípica	Cloruro de sodio (NaCl)	Existen varios, el H ₂ , es uno de los más empleados	Ninguna. Sólo se menciona a los “elementos no metálicos”
Propiedades descritas (compuestos)	Sólidos con: altos puntos de fusión, solubles en agua y presentan conductividad eléctrica en agua.	Generalmente se habla de los compuestos moleculares con: bajos puntos de fusión, poca solubilidad en agua y son malos conductores de la electricidad en disolución.	Sólidos: brillosos, maleables y dúctiles, con altos puntos de fusión, buenos conductores del calor y la electricidad.
Generalidades	La regla del octeto se cumple al transferir electrones de un átomo a otro. Representación de los	Es resultado de la compartición de electrones, entre átomos (no metálicos) de	Es el enlace presente en los elementos metálicos, en ellos los electrones se encuentran

	orbitales atómicos y/o de las ecuaciones de la formación de iones. Existe una gran diferencia de electronegatividad entre los átomos que lo conforman, específicamente un metal y un no metal.	electronegatividades similares; que al combinarse adquieren una configuración electrónica equivalentes a la de un gas noble.	deslocalizados. Uso indistinto de “átomo” o “catión” para la descripción del modelo del mar de electrones.
Relación con otros conceptos	Introducción de las sustancias reticulares y principios de cristalografía. Energía de ionización y afinidad electrónica.	Excepciones a la regla del octeto, hibridación, geometría molecular, estructuras de Lewis, densidad electrónica, química orgánica, enlaces múltiples, resonancia y/o hibridación.	Aleaciones. Industria metalúrgica.
Particularidades	Explícitamente se habla de la naturaleza electrostática del enlace.	Existen diferentes subtipos: covalente polar y covalente puro.	No siempre se incluye.

4.2 La propuesta de enseñanza del profesor Aureliano

En la entrevista el profesor plantea que estructura su secuencia alrededor de tres conceptos clave: la energía, los cambios de estado y la reacción química. Por lo tanto, la entrevista se desarrolló en torno a estos conceptos; sin embargo, esto no se vio reflejado durante la observación de su secuencia. En la entrevista también: señala *la implicación que tiene un enlace en las propiedades de los materiales*; expone algunas de las actividades que realiza para que sus alumnos puedan entender dicha relación y explica la importancia que le otorga a otros conceptos (como las propiedades periódicas) para la enseñanza del enlace. Según lo observado en sus clases, estos conceptos y procedimientos tienen un mayor peso dentro de su secuencia que asociados a los conceptos clave en los que gira la entrevista.

La secuencia comprende únicamente dos sesiones cada una de aproximadamente 120 minutos; en la primera de ellas realiza una actividad

experimental y en la segunda discute no sólo los resultados obtenidos sino también los principios fundamentales del enlace y de esta forma cierra el tema.

El profesor durante la entrevista expresó con claridad cuáles son los conceptos que domina pero que excluye de la enseñanza del enlace como el octeto de Lewis o la afinidad electrónica (**pregunta 5**); al momento de argumentar su respuesta también comenta: *me parece que entiendan electronegatividad, radio atómico y energía de ionización, para que entiendan el enlace*. Lamentablemente no se profundizó más en estas ideas durante la entrevista, pero justamente con estos temas es como inicia su secuencia (ver **Tabla 25**).

En el discurso de la **Tabla 25**, Aureliano hace un resumen de lo visto en sesiones previas: los óxidos metálicos, no metálicos y las propiedades periódicas; a través de la pregunta: *¿Qué determina las propiedades de las sustancias?* plantea el problema a resolver y la búsqueda de la relación de estos temas con el enlace.

Tabla 25. Transcripción del discurso sobre las propiedades periódicas de los elementos, por Aureliano. Escena I, Sesión I.
<p><i>¿La clase pasada qué vimos? propiedades periódicas, es decir, electronegatividad, energía de ionización y radio atómico. Es importante mencionar que son tendencias, es decir, si en un momento dado buscamos los valores precisos de radio [atómico] a lo mejor uno que esperábamos que fuera muy grande resulta que no.</i></p> <p><i>Vamos a recordar estas tendencias para el caso de los metales. ¿Cómo los consideramos? De radios [atómicos] grandes, gordos, de poca electronegatividad y poca energía de ionización. Ok y estas características ¿qué ocasiona? ¿Qué les ocasiona? Que sean oxidados y los no metales ¿Qué características tienen? Radios atómicos pequeños, mucha electronegatividad y alta energía de ionización; eso significa que ellos se comportan más como agentes oxidantes.</i></p> <p><i>Estábamos analizando hace algunos días, porque habíamos obtenido óxidos sólidos de los metales y óxidos gaseosos de los no metales, ¿se acuerdan? Incluso decíamos bueno es probable que esas características tengan que ver justamente con las propiedades periódicas de los átomos que conforman esas sustancias, hoy vamos a ver otras propiedades más que podemos considerar.</i></p> <p><i>[Escribe en el pizarrón: ¿Qué determina las propiedades de las sustancias?] Ese es el problema que vamos a resolver.</i></p>

A continuación, escribe en el pizarrón las sustancias con las que van a trabajar: NaCl, MgCl₂, CaCl₂, S₈, glucosa y sacarosa y cuestiona a sus alumnos sobre las propiedades que podrían analizar de ellas. Algunas de sus respuestas

fueron: el color, el olor, el sabor, el estado de agregación, mientras el profesor hace un pequeño comentario sobre la pertinencia de incluir sus propuestas o no; de manera espontánea dos alumnos proponen la medición de la solubilidad y la conductividad eléctrica. En este punto el profesor hace algunas observaciones relativas al manejo de las sustancias, del conductímetro y puntualiza que la conductividad eléctrica la medirán en disolución acuosa y en sólido; a su vez les solicita que tengan a la mano los puntos de fusión que previamente investigaron de las sustancias en cuestión.

Tabla 26. Predicciones hechas por Aureliano y sus alumnos, previo a la actividad experimental. Escena II, Sesión I.	
Aureliano	<i>Antes de seguir, ¿Por qué los que están dando el sí y el no, no los que no lo saben, en qué se basan para decir si conduce o no conduce y para decir si es o no es soluble?</i>
Alumno 1	<i>En que los enlaces covalentes no son buenos conductores de la electricidad</i>
Aureliano	<i>¿Ósea ya estas metiéndote con Sansón a las patas para hablar de enlace?, ósea estás diciendo que si influye el enlace y que incluso el covalente no conduce la electricidad.</i>
Alumno 1	<i>Bueno la sustancia.</i>
Aureliano	<i>Ok me gusta lo que dices ¿y cuáles si conduciría según tú?</i>
Alumno 1	<i>Los metálicos y los iónicos.</i>
Alumno 2	<i>Yo digo que el cloruro de sodio si conduce.</i>
Aureliano	<i>Sí, pero ¿en qué te basas?</i>
Alumno 2	<i>A que cuando lo disuelves se forman iones.</i>
Aureliano	<i>Ok su compañero también se está metiendo a las patadas con Sansón porque dice que la conductividad eléctrica tiene que ver con iones.</i>
Alumno 2	<i>¿El covalente cuando este en agua si puede conducir la corriente?</i>
Aureliano	<i>Si podría ser... ¿Qué opinan los demás?</i>
Alumno 3	<i>Yo digo que es iónico por la fuerza que van a tener sus enlaces.</i>
Aureliano	<i>¿Cuándo se si es iónico o covalente?</i>
Alumno 2	<i>Según sus elementos.</i>
Aureliano	<i>¿La unión entre un metal y un no metal que sería?</i>
Alumno 2	<i>Iónicos</i>
Aureliano	<i>Esto ¿de dónde lo aprendieron?</i>
Alumno 1	<i>De la secundaria.</i>
Aureliano	<i>¿Cómo sería un covalente?</i>
Alumno 1	<i>No metal más no metal.</i>
Aureliano	<i>Ok. No pierdan de vista lo que sus compañeros ya plantearon, yo no he dicho que este bien o mal, simplemente que con el experimento se podrán definir algunas cuestiones.</i>

El planteamiento de esta actividad coincide con gran precisión con lo descrito en la entrevista (**pregunta 7**); donde explica que trabaja con sustancias iónicas

(diferentes cloruros), covalentes polares (glucosa y sacarosa) y covalentes no polares (azufre); así como su decisión de omitir el estudio del enlace metálico (**pregunta 5**). A continuación, Aureliano les pide a sus alumnos que predigan el comportamiento, que cada una de las sustancias presentará; ellos se expresan con libertad incluso el profesor les concede la posibilidad de decir “no lo sé” (este último punto no lo menciona en la entrevista). Una vez que las predicciones fueron tabuladas Aureliano les pide que expliquen su elección (ver **Tabla 26**).

El profesor no compartió con la observadora las características de la tarea previa que les solicitó a sus alumnos, pero al parecer como parte de este trabajo investigaron sobre el enlace químico; si además consideramos sus conocimientos previos, ellos ya cuentan con *demasiada* información sobre el tema (y la química en general); según lo demuestran en sus respuestas (ver **Tabla 26**). Aunque también expresan concepciones alternativas: *es iónico por la fuerza de sus enlaces*.

Después de estas consideraciones se procedió a realizar las mediciones correspondientes, conforme van obteniendo resultados los alumnos pasan a escribirlos al pizarrón, de tal manera que al finalizar tienen tabulados las predicciones hechas y sus datos. Los resultados obtenidos por ellos, según lo esperado, se pueden dividir en tres bloques según las similitudes mostradas entre ellos: los iónicos (cloruros), los covalentes polares (azúcares) y el covalente no polar (azufre).

A continuación, Aureliano reflexiona con ellos sobre los resultados grupales, iniciando con el azufre, sustancia que según sus palabras: *no tiene propiedades similares a alguna otra de las empleadas* (ver **Tabla 27**). De esta reflexión hacen algunas generalizaciones como: *las sustancias polares se llevan con el agua que es polar [es decir, tiene un dipolo positivo y otro negativo]*. El profesor no sustituye en ningún momento de las sesiones observadas estos términos antropomórficos o informales (llevarse) por términos científicos o formales (solubilidad); lo cual según lo reportado en la literatura genera en los alumnos la sensación de que los átomos son seres vivientes, así como la formación de otras concepciones alternativas; además de que interiorizan el uso de estos términos, lo cual puede ser difícil de modificar en un futuro si eligieran seguir una carrera científica.

La discusión continúa con los compuestos iónicos, en donde Aureliano guía a sus alumnos para que establezcan relaciones entre las propiedades periódicas de los elementos que conforman a las sustancias y las propiedades que exhiben; finaliza con los azúcares (ver **Tabla 27**).

Tabla 27. Discusión sobre los resultados obtenidos de la actividad experimental por Aureliano.	
Sesión I	
Escena III. El enlace covalente polar y el azufre.	
Aureliano	<i>Todas las sustancias son solubles en agua menos el azufre [...], la pregunta es ¿Por qué?</i>
Alumno 1	<i>Porque es un no metal.</i>
Aureliano	<i>Pero estas también son no metales y no tendrían que ser solubles...</i>
Alumno 1	<i>Porque es un elemento</i>
Aureliano	<i>Y ¿eso qué significa? ¿Qué con que sea un elemento?</i>
Alumno 1	<i>Que sus partes son iguales.</i>
Alumno 2	<i>Porque es un elemento y todos sus átomos son iguales y eso va a hacer que se comporte este... que sus enlaces sean de la misma forma.</i>
Aureliano	<i>[...] Entonces no va a haber polos y ¿porqué no se lleva con el agua?</i>
Alumno 2	<i>Porque es bipolar.</i>
Aureliano	<i>El agua es bipolar, entonces no hay manera de que se dé esa interacción. [...] Va de nuevo el azufre no se lleva con el agua [no es soluble] porque es no polar y en nuestra vida cotidiana ¿Qué no se lleva con el agua?</i>
Alumno 2	<i>El aceite, la grasa...</i>
Aureliano	<i>¿Y de que estarían hechas?</i>
Alumno 2	<i>De sustancias no polares.</i>
Alumno 1	<i>Entonces prácticamente todo lo que no se lleva con el agua es no polar.</i>
Aureliano	<i>De alguna manera, porque a mí me da miedo decirlo así, porque al decir todo si algo rompe la regla... ¡chin, ya la regué! Mejor decir casi todo.</i>
Escena IV. Los cloruros y las propiedades periódicas.	
Aureliano	<i>¿Por qué ninguno [de los cloruros] conducen en estado sólido? [...]</i>
Alumno 1	<i>Por el agua, como es bipolar y... eh leí que los compuestos iónicos tienen unidos sus átomos por fuerzas, bueno entonces va a llegar el agua y los va a romper, por la cualidad bipolar del agua y los va a separar a los átomos.</i>
Aureliano	<i>¿En que los va a separar?</i>
Alumno 1	<i>En átomos.</i>
Aureliano	<i>En iones. [...] A ver dicen que son sustancias iónicas porque tienen un metal y un no metal y llega el agua "la mala amante" y los separa en iones y son los iones los que son responsables de la conductividad eléctrica y me pregunto: ¿Por qué se forman estos iones? ¿Qué tienen que ver las propiedades para que se formen estos iones? ¿Cómo asociarían las propiedades periódicas con esto? Por lo menos una...</i>
Alumno 2	<i>Porque los metales son más fáciles de que le roben un electrón porque son más grandes.</i>
Aureliano	<i>¿Estás hablando del radio atómico verdad?</i>
Alumno 2	<i>Si y entonces pueden conducir... mientras que a los no metales no les pueden quitar sus electrones...</i>
Aureliano	<i>¿Y qué se está formando?</i>
Alumno 2	<i>Un enlace iónico</i>
Aureliano	<i>¿Y qué pasa cuando le agregan agua?</i>
Alumno 2	<i>Se rompe el enlace y se forman iones.</i>

Siguiendo con esta lógica, el profesor va estructurando las características principales de cada modelo de enlace que revisará en clase, así como la explicación de las propiedades que exhiben los compuestos en cuestión:

- ✓ **Enlace iónico** (sustancias empleadas: distintos cloruros de metales alcalinos): *[Los compuestos iónicos] están formados por un metal y un no metal [...], donde existe una gran diferencia de electronegatividad; son solubles en agua porque hay presencia de iones y si el agua es bipolar, va a haber una interacción entre el polo positivo del agua con el ion negativo de la sal y el polo negativo del agua con el ion positivo de la sal, [entonces] conducen la corriente eléctrica en disolución por la presencia de iones.*
- ✓ **Enlace covalente polar** (sustancias empleadas glucosa y sacarosa): *Están formados por dos no metales [...], como van a tener electrones en disputa, van a preferir compartirlos. Aquí la diferencia de electronegatividad va a hacer que los electrones estén más cercanos al átomo más electronegativo [...] se llevan con el agua [son solubles] porque tienen polos, pero no conducen la corriente eléctrica porque no forman iones. En el caso de la formación de polos estamos hablando de átomos que tienen una electronegatividad parecida pero el hecho de que diga parecida implica que uno de los dos átomos es ligeramente más fuerte, van a seguir compartiendo electrones, pero no de manera equitativa.*
- ✓ **Enlace covalente no polar** (sustancia empleada azufre): *están conformados por el mismo elemento [específicamente no metales], entonces su electronegatividad es igualita y los electrones van a estar en el centro; por lo tanto, no va a haber ni polos ni iones ni se va a llevar [solubilidad] con el agua y si no hay iones pues tampoco hay conductividad [eléctrica].*

Aureliano al explicar las características del enlace covalente no polar, emplea la siguiente frase: *están conformados por el mismo elemento* e implícitamente afirma que este enlace se podría formar entre átomos iguales sin importar si son no metales o no; entonces como respuesta al planteamiento hecho por el profesor, uno de sus alumnos plantea la siguiente pregunta: *¿y en el enlace metálico que pasa?* La respuesta dada fue:

El enlace metálico no lo vamos a ver este semestre, sino el siguiente y sólo te diré que hay mares de electrones y que es un enlace covalente raro, pero no lo vamos a explicar.

Lamentablemente el profesor considera que no debe incluir el estudio del enlace metálico dentro de su secuencia de enseñanza, a pesar de que espontáneamente sus alumnos tienen curiosidad por el tema, a pesar de que podría trabajar con algún metal en su actividad experimental y que podría explicar el modelo de enlace metálico empleando las propiedades periódicas y lograr así que sus alumnos desarrollen un entendimiento más profundo del enlace.

Todos estos temas son retomados y revisados con mayor profundidad durante la siguiente sesión, a través del uso de diferentes analogías antropomórficas, las cuales serán discutidas a continuación al igual que la exposición hecha de características las redes cristalinas y las moléculas.

4.2.1 Analogías antropomórficas

El profesor Aureliano afirmó, durante la entrevista, que empleaba analogías antropomórficas durante la enseñanza del enlace, dos de ellas son similares a las que se encuentran en el texto de Phillips et al. (2000). Por tal motivo, se discutirán de manera conjunta los resultados obtenidos sobre este aspecto.

Únicamente, en tres de los diez títulos revisados: Brown, Phillips y Rico, se encontró la presencia de analogías. Mientras Brown limita el uso de las analogías a pequeños dibujos con un toque de humor (ubicados exclusivamente en el capítulo introductorio); Phillips emplea un gran número de analogías en cada capítulo; en el correspondiente al enlace químico, encontramos dos de ellas. Ambas destacan la desigualdad con que dos átomos comparten sus electrones al “dotarlos” de características antropomórficas, mientras que el enlace es representado indirectamente con una cuerda (ver **Figura 11**). Los autores tienen la precaución de explicar mínimamente las situaciones mostradas e incluir frases como “se puede imaginar” o mencionar expresamente que se trata de una analogía; incrementando así, tanto el efecto deseado en el lector como la creencia del enlace es una entidad material.

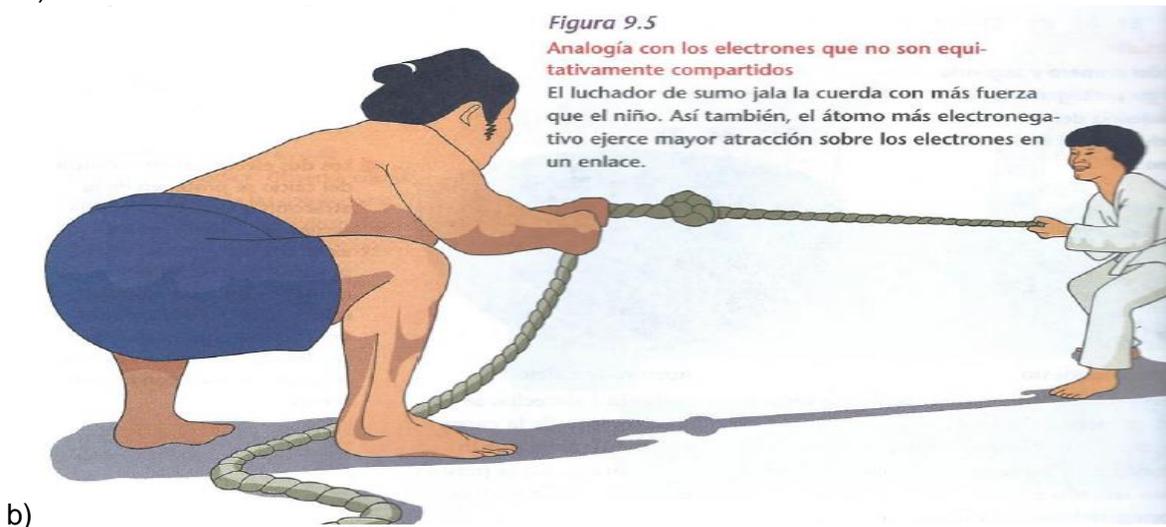


Figura 11 Reproducción de las analogías antropomórficas encontradas en el libro de texto de: J. S. Phillips, V. S. Strozak, C. Wistrom, *Química. Conceptos y aplicaciones*, Primera edición, Mc Graw-Hill, México, 2000, a) pág. 303 y b) 304.

Por otra parte, en el texto de Rico solamente encontramos una analogía en el capítulo dedicado al enlace químico; la cual es empleada para destacar que los átomos comparten por igual sus electrones en el enlace covalente, la analogía es acompañada por dos representaciones de la formación de la molécula de hidrógeno que indican que el elemento cumple la regla del octeto con un *doblete* (ver **Figura 12**). Se trata de una variante más de las comúnmente empleadas en la presentación de un enlace: dos personas o átomos (con características humanas) que se dan la mano como símbolo de unión. Sin embargo, se conjugan indirectamente dos situaciones que promueven concepciones alternativas: los átomos al personificarse *desean* o *quieren* compartir sus electrones para tener su *octeto/doblete* lleno y la

formación de un enlace es resultado de este deseo por cumplir dicha regla. Sin mencionar que al carecer de brazos la unión resultante no parece generar una situación más favorable.

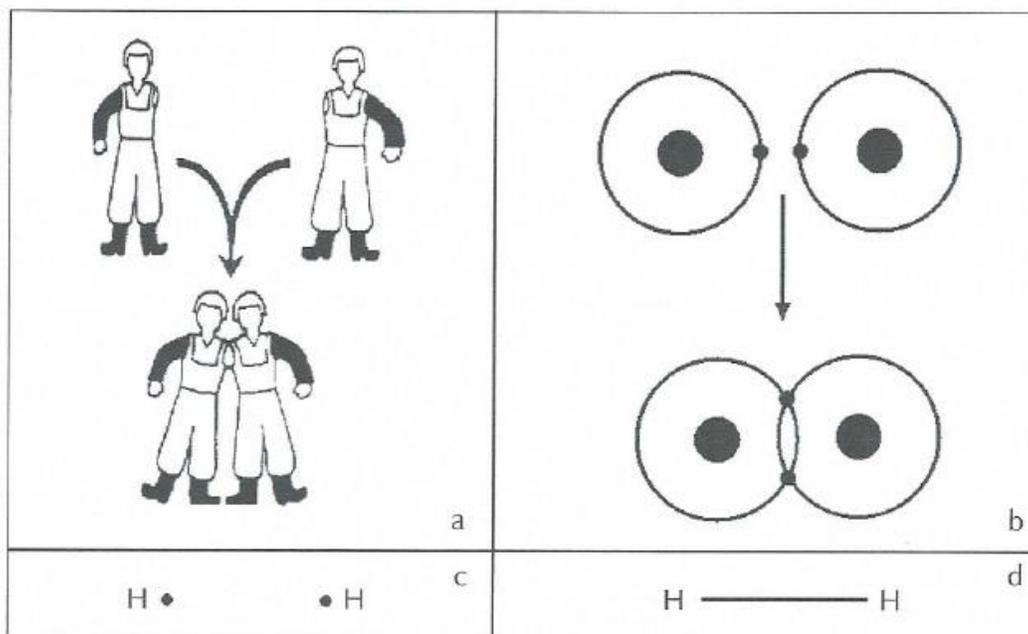


Figura 2.24 En el enlace covalente se comparten pares de electrones para que se cumpla la regla del octeto, que excepcionalmente en el hidrógeno es sólo doblete. De este modo, en la molécula de hidrógeno (H_2) cada uno de los átomos que la forman es como si tuviera dos electrones (los esquemas c y d son una simplificación del b)

Figura 12 Reproducción de la analogía antropomórfica empleadas en el libro de texto: A. Rico Galicia, R. E. Pérez Orta, *Química I. Agua y Oxígeno*, Tercera Edición de la Cuarta Edición, UNAM-CCH, México, 2012, pág. 182.

Si bien no tiene exclusividad por un libro de texto en particular; Aureliano consulta los títulos de Philips, Chang y Garritz. En el texto de Phillips se encuentran dos analogías antropomórficas que guardan una estrecha relación con las presentadas por el profesor durante la observación de clases; concordando con lo dicho en la entrevista:

Debo reconocer que tengo [la costumbre] de darle características a las partículas que trabajamos de seres humanos. No ayuda mucho, pero ni modo. Tienes que recurrir a veces a [decir] "yo soy un átomo, tú eres otro átomo y nos tomamos de la mano, somos moléculas y estamos..." Para que entiendan ellos, no sé qué tan malo pueda ser, pero si soy muy dado a [emplear] analogías, metáforas, a hacer antropomórficos a los átomos.

Lo anterior se vio reflejado con claridad en las dos sesiones que Aureliano dedicó al tema del enlace químico. Efectivamente el profesor usó moderadamente un lenguaje antropomórfico (por ejemplo: *el pobrecito átomo*) y por lo menos una analogía por sesión para explicar algún aspecto del enlace. Como se mencionó anteriormente, en la primera sesión realiza una actividad experimental para medir la conductividad eléctrica y la solubilidad en agua de algunas sustancias, posteriormente al discutir las propiedades del azufre y las características del enlace covalente no polar, les plantea la siguiente situación a sus alumnos:

Es como si yo me clonara ocho veces [...] y me pongo a jalar una cuerda con mis ocho "yos", ¿nos moveríamos? No, porque estamos jalando con la misma fuerza, es decir, ¿en qué coincidimos? En la misma electronegatividad, en el radio atómico, en la energía de ionización. [...] Entonces si tenemos la misma electronegatividad y jalamos a los electrones con la misma fuerza, ¿Dónde van a estar estos? Pues en el centro.

En la sesión posterior, Aureliano les proyecta a sus alumnos una figura en la cual un muñeco rojo grande tira de una cuerda sujeta por otro muñeco azul más pequeño, en el centro de la cuerda se encuentran dos esferas una roja y otra azul; en dicha analogía es empleada para hablar del enlace covalente polar. A continuación, Aureliano emplea una analogía similar: un hombre corpulento y una pequeña mujer, nuevamente tiran de una cuerda; pero en este caso la mujer se encuentra en clara desventaja, aspecto que el profesor utiliza para referirse al enlace iónico. Adicionalmente plantea una situación hipotética en la que Aureliano y un alumno representan a dos átomos de distintos no metales que se enlazan; de esta forma cuestiona al grupo sobre las características que dicho enlace tendrá y las propiedades que probablemente presentará la sustancia formada (ver **Tabla 27**).

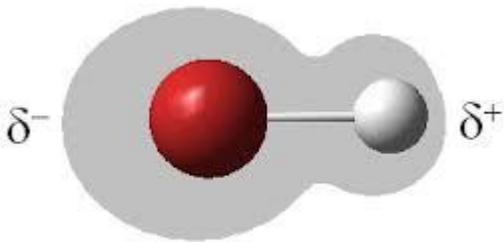
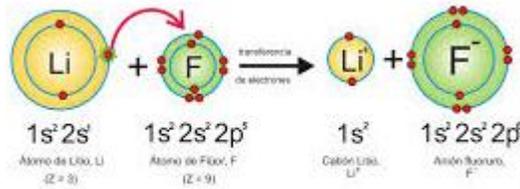
Es decir, el profesor emplea, en una sola sesión, cuatro analogías de manera casi interrumpida, en todas ellas se fomenta la visualización del enlace como una entidad material (una cuerda) y su formación como el resultado de una lucha desigual entre dos átomos por los electrones.

Tabla 27. Analogías antropomórficas empleadas durante la Sesión II , por el profesor Aureliano para explicar algunas características del enlace.	
Escena I	
<i>Aquí el muñequito rojo es un [átomo] no metal, aquí [señala al muñeco azul] es otro no metal. Aquí la diferencia es que este muñequito [señala al muñeco rojo]... ¿Qué está haciendo? Esta jalando con más fuerza a los electrones [...] que no están en medio sino ligeramente más hacia este muñequito [el rojo]. Eso significa que se van a generar polos, porque tienen electronegatividades diferentes, pero no muy diferentes solo tantito. Por lo tanto, los electrones van a estar más cerca del átomo más electronegativo.</i>	
Escena II	
<i>En él [enlace] iónico tenemos al átomo más electronegativo representado por un hombre fuerte y a una señora representada por una hermosa mujer débil, poco electronegativa y metálica, si hay una interacción entre ellos, este [el átomo más electronegativo] va a tener más fuerza para atraer los electrones tanto los de él como los de ella [el átomo menos electronegativo] y por lo tanto van a estar más cerca del átomo más electronegativo y se van a formar iones.</i>	
Escena III	
Aureliano:	<i>Soy un [átomo de un] no metal y él [un alumno] es otro no metal, somos de radios [atómicos] pequeños, pero yo soy un poco más grande que él [en términos de su radio atómico]. Por lo tanto, si estamos hablando de su electronegatividad ¿Cómo va a ser?</i>
Alumno:	<i>Un poco más alta.</i>
Aureliano:	<i>¿Dónde van a estar nuestros electrones?</i>
Alumno:	<i>Muy unidos al núcleo de él.</i>
Aureliano:	<i>¿Qué tipo de enlace se forma?</i>
Alumno:	<i>Enlace covalente polar porque hay una diferencia de electronegatividad.</i>
Aureliano:	<i>Por lo tanto, se van a formar polos no iones y ¿nos vamos a llevar bien con el agua [a ser solubles en el agua]?</i>
Alumno:	<i>No, porque el agua es bipolar.</i>
Aureliano:	<i>Pero nosotros también somos bipolares, él es negativo y yo soy positivo entonces si nos vamos a llevar con el agua; porque él se va a llevar con la parte positiva y yo con la negativa entonces somos solubles. [...] y ¿porque no conducimos la electricidad? Porque no formamos iones.</i>

Claramente, el profesor abusa del recurso al presentar más de una analogía con las mismas características en una sesión; sin especificar las posibles dificultades o limitaciones de emplear estas representaciones, con lo cual no sólo puede aburrir a sus alumnos sino servir de fuente de concepciones alternativas. Sin embargo, después de exponer cada una de analogías, también presenta, explica y discute el correspondiente modelo científico, facilitando así que sus alumnos comparen, discriminen e identifiquen, los atributos que comparten estos con las analogías empleadas anteriormente (ver **Tabla 28**). Es decir, que establezcan la relación entre el conocimiento pre-existente (el análogo: la cuerda) y el conocimiento

nuevo u objetivo (el enlace químico); minimizando el riesgo de que se realice una transferencia casi total e inadecuada de los atributos del análogo al objetivo o de que la analogía sea asumida como el objeto de estudio.

Tabla 28. Representación y explicación dada por el profesor Aureliano para los modelos de enlace covalente polar y iónico.

Explicación (fragmento de la transcripción)	Representación
<p>“Si lo vemos en términos de modelos con átomos, en el covalente polar ambos son átomos no metálicos, la representación para identificar que los electrones están más cerca de este átomo [señala el de la izquierda] se llama densidad electrónica. El palito lo utilizamos para representar al enlace, pero en realidad no existe, lo usamos como parte de un modelo. Este simbolito [δ] significa densidad parcial”</p>	
<p>“Utilice al litio como al átomo menos electronegativo, es un metal y un átomo gordo [con radio atómico grande] y al flúor que es el más electronegativo de todos los elementos. ¿Qué es lo que va a hacer el litio? Pues va a ceder completamente su electrón al flúor de tal manera que el litio, va a quedar estable con dos electrones como el helio y el flúor va a quedar estable con ocho electrones [en su última capa], pareciéndose al neón [...] formando una nueva sustancia”</p>	

En la entrevista, Aureliano mencionó emplear frecuentemente analogías antropomórficas durante sus clases. Esto puede deberse, entre otras cuestiones, a que dicho profesor dice usar como apoyo el texto de Phillips; la literatura nos señala que los libros de texto ejercen una fuerte influencia sobre los profesores novatos etapa en la que desarrollarán los hábitos que impactarán su carrera profesional (Talanquer, 2004). Esta coincidencia es una muestra de la necesidad de hacer decálogos e inventarios sobre las analogías empleadas por los profesores, para ayudarlos a reflexionar la conveniencia de incluir dicha analogía en sus clases; potencializando sus beneficios mientras disminuye sus efectos negativos.

4.2.2 Distinción entre redes y moléculas

Durante la entrevista Aureliano consideró adecuado que los alumnos sean capaces de distinguir entre moléculas, átomos y redes cristalinas. Por lo cual, dedica parte del tiempo de la segunda sesión a dicho tema; para lograr este objetivo cuenta con varias maquetas (modelos materiales) de esferas y barras que representan (entre otras) la estructura química del diamante y el grafito, las cuales usa para plantear estas diferencias. Por último, es importante destacar, que, aunque en la entrevista Aureliano dice emplear los modelos a lo largo del curso e insistirles a sus alumnos que los incluyan en sus informes, es este momento el único acercamiento o referencia que realizó a los modelos durante las sesiones observadas:

Aquí tengo dos modelos: este representa al diamante, este representa al grafito. Este es el diamante modelo, los átomos deberían ser del mismo color aclaro aquí el fabricante no sé porque puso unos negros y otros cafés, en realidad tendrían que ser todos igualitos porque es carbono. Al cubo amarillo no le hagan caso es simplemente una estructura para sostener el modelo, nos importan únicamente las bolitas y las barritas que están representando el enlace, que el enlace no es otra cosa sino una interacción, una atracción que hay entre el átomo debido al núcleo y a los electrones.

A continuación, les solicita que le digan las propiedades: dureza, brillo, solubilidad, conductividad eléctrica (gracias a esta última un alumno destaca que fue posible realizar la electrolisis del agua, ver **pregunta 7** del CoRe), costo y disponibilidad; después les plantea las siguientes preguntas: *¿Porque serán tan diferentes si son la misma sustancia?, ¿será sólo el enlace el que va a determinar las propiedades [de las sustancias]?* A los alumnos no les es difícil considerar que la forma en la que están acomodados los átomos es determinante en las propiedades de ambas sustancias; el profesor válido su observación:

Vean qué interesante la estructura me está diciendo que también influye en las propiedades de las sustancias. Ésta es una red cristalina, es decir, no es una molécula. El problema de los químicos, de los maestros, es que nos da "moleculitis", enfermedad muy grave que a todo le queremos llamar molécula. [...] Hablamos de red cristalina cuando hay un orden en la forma en la que están acomodados los átomos que tiene que ver con cuantas veces se repite esta estructura o figura geométrica.

Finalmente, Aureliano enumera a sus alumnos las características principales que poseen las redes cristalinas: el alto grado de orden que presentan y la gran cantidad de átomos que las conforman; mientras que las moléculas *son agregados con menos átomos que se repiten e interactúan entre sí* (al formar enlaces intermoleculares). Cierra este tema con una breve exposición de dos casos que rompen las reglas:

- ✓ El grafito que conduce la corriente eléctrica en sólido: *por su estructura, por aquí [señala una esfera en la maqueta] hay electrones que no están haciendo enlace y andan dando vuelta... aquí un átomo de carbono en lugar de formar cuatro enlaces, forma sólo tres de manera internuclear y dos pares de enlaces andan revoloteando por ahí como alumnos del CCH; por eso le pones un cable y empieza la conductividad eléctrica.*
- ✓ El vidrio es *aparentemente un compuesto cristalino, pero resulta que es amorfo, si fueran cristalinos nuestros vidrios ya nos los hubieran robado.*

Por último, aprovecha la ocasión para que sus alumnos relacionen las propiedades que estas redes pueden presentar con su estructura, al hacerlo encontramos un reflejo de las ideas expuestas en la entrevista: la asociación entre las reacciones químicas, la energía y los cambios de estado. Las palabras empleadas por Aureliano fueron:

*Se necesita muchísima más **energía** para destruir [separar] una red cristalina que para separar un enlace intermolecular en las sustancias covalentes. Digo destruir en términos no de que se transforme en otra sustancia, porque no hay **reacción química**. Es como un castillo de arena, cuando llega el aguase lo lleva, pero sigue siendo arena. Entonces, se necesita poca energía para separar esas moléculas y **pasarlas del estado líquido al gaseoso o del sólido al líquido**, entiéndase temperatura de ebullición o de fusión. Ósea que importa muchísimo que una sustancia la tengamos como red cristalina o como molécula en cuanto a sus propiedades.*

4.2.3. Consideraciones finales

Al contrastar lo dicho en la entrevista con lo observado en sus clases, se aprecia que una interferencia negativa entre los temas que Aureliano desarrolla previo a la entrevista y el enlace; ya que estos (reacción química, energía y cambios de estado) no forman parte medular de la secuencia empleada mientras que en un segundo plano y escasamente describe los conceptos (las propiedades periódicas) y estrategias que emplea para la enseñanza del enlace.

En el desarrollo de la secuencia, no se recurre al octeto para explicar la formación del enlace sino a una serie de conceptos que raramente son revisados a profundidad en un curso básico: las propiedades periódicas. Otra de las posibles ventajas de este enfoque es que los alumnos relacionan un número mayor de conceptos a lo largo del temario. Entre sus desventajas están: 1. el énfasis puesto en los elementos que conforman la sustancia fomenta la falsa percepción de la universalidad de los compuestos binarios heteroatómicos, si bien el profesor al exponer claramente las diferencias entre las redes cristalinas y las moléculas busca aminorar dicha percepción, 2. El uso excesivo de analogías antropomórficas y de un lenguaje cotidiano, que no sustituye por términos formales.

En lo relativo a la actividad experimental el pequeño ejercicio de predicción enriquece la experiencia otorgándoles un papel más activo a sus alumnos; sus predicciones son en su gran mayoría cercanas a los resultados obtenidos. Por lo tanto, la actividad termina por verificar las propiedades que típicamente se asocian a las sustancias iónicas o covalentes. Sino fuera por la predicción hecha y por la inclusión de una sustancia covalente no polar (el azufre) la actividad reproduciría con fidelidad un aspecto central de la enseñanza tradicional del enlace (según los resultados obtenidos en la revisión de los libros de texto): la clasificación de las sustancias según la medición de algunas de sus propiedades en iónicas o covalentes.

Desde una perspectiva global tanto de la entrevista como de la secuencia, se puede estimar el esfuerzo hecho por el profesor al emplear adecuadamente cada una de las herramientas que conforman su secuencia, el conocimiento y la atención puesta en minimizar sus efectos negativos. Un interés genuino por actualizarse e

incorporar los avances de la investigación educativa en su aula (por ejemplo, los modelos), la afectividad positiva por los temas que enseña, por el aprendizaje de sus alumnos y su reflexión constante sobre su práctica docente son puntos que pueden favorecer la integración de estos conocimientos y habilidades, traduciéndose en el fortalecimiento del CPC y la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje.

4.3 La propuesta de enseñanza del profesor Laudelino

La secuencia de enseñanza propuesta por Laudelino tiene como pilares a la estructura atómica, la electronegatividad y las propiedades físicas de los materiales. La descripción de esta propuesta durante la entrevista y los eventos ocurridos en el aula, guardan concordancia entre sí, pero además se encontraron numerosas similitudes existentes con la propuesta de Sosa *et al* (2008) y si no fuera por la inclusión del enlace metálico, sería fiel a lo indicado en el programa de estudios. En la **Tabla 29**, se encuentra una cronología de los eventos ocurridos y los temas vistos en clase durante la secuencia del profesor.

La secuencia inicia y termina con una actividad experimental. Durante el avance de las sesiones se profundiza en los diversos conceptos que el profesor considera centrales para el aprendizaje del enlace. También se observó el empleo de situaciones hipotéticas (que el profesor denomina *ejercicios mentales*), la proyección de animaciones, el empleo de presentaciones en power point e incluso la lectura de narrativas escritas por los alumnos donde relacionan el estudio de la química con otras disciplinas. Se describirán de manera global los eventos ocurridos durante las sesiones; al último, se discutirán los siguientes temas: la regla del octeto, los modelos, las referencias históricas, los modelos intermedios de enlace y las narrativas; elementos que juegan un papel importante dentro de la propuesta de enseñanza del profesor.

Tabla 29 Cronología de los eventos ocurridos durante las sesiones en las que impartió el tema del enlace químico Laudelino. No. de sesiones: 8. Tiempo aproximado: 680 mins.	
Sesión	Descripción
I.	Actividad experimental: Caracterización e hidrólisis de óxidos metálicos y no metálicos. Tiempo estimado: 50 min.
II.	Retroalimentación del informe de la actividad experimental y de los ejercicios de lápiz y papel. Lectura de narrativas. Tiempo estimado: 50 min.
III.	Resolución dudas sobre los ejercicios de escrituras de fórmulas de óxidos y reacciones de hidrólisis. Inicia la presentación sobre las propiedades de los materiales. Tiempo estimado: 120 min.
IV.	Se da seguimiento a la presentación. Temas: Carácter metálico, energía de ionización, radio atómico, protones, neutrones y electrones, modelo atómico de Bohr y Lewis. Tiempo estimado: 120 min.
V.	Construcción de estructuras de Lewis. Revisión de las características de las sustancias reticulares y el tetraedro de las sustancias. Tiempo estimado: 120 min.
VI	Revisión de los temas: Lewis, electronegatividad, óxidos, ácidos y bases, ejercicios de lápiz y papel, introducción de algunas de las excepciones a la regla del octeto. Tiempo estimado: 50 min.
VII	Temas: la diferencia de electronegatividad como criterio para clasificación los tipos de enlace. Tiempo estimado: 50 min.
VIII	Actividad experimental de cierre: El enlace químico. Tiempo estimado: 120 min.

En la primera sesión, Laudelino le entrega a cada equipo una bolsa de plástico que contiene una muestra desconocida de algún óxido metálico o no metálico, les solicita que presten atención en el estado de agregación (primer resultado); a continuación, hace una demostración ante el grupo de cómo deben abrir la bolsa para agregar agua, agitar y luego añadir unas gotas de fenolftaleína. Laudelino señala que la importancia de este segundo resultado: *no tiene que ver directamente con esto sino con el carácter ácido-base de la disolución obtenida y lo que le pasó al indicador (si hubo cambio de color o no)*; de esta manera podrán identificar el tipo de óxido del que se trata (metálico o no metálico). Laudelino les da tiempo para discutir los resultados obtenidos por equipos, realizan ejercicios de lápiz y papel de balanceo y escritura de reacciones de hidrólisis con distintos óxidos. Por último, elaboran los informes durante el tiempo restante de la sesión.

El tema y la realización de esta actividad están planteados por el programa de estudios, como el marco que permite introducir el estudio del enlace químico. Durante el mismo Laudelino no hace referencia ni al enlace ni a las reacciones químicas, sencillamente emplea esta situación para que sus alumnos practiquen la

escritura de fórmulas (con la ayuda de una tabla de iones que previamente construyeron), de reacciones químicas y el balanceo de las mismas; dichos ejercicios son retomados en la siguiente sesión. Considero, que si bien la práctica de estos ejercicios resulta valiosa para sus estudiantes, el bien mayor de esta sesión es la guía que Laudelino les ofrece para la redacción del análisis de los resultados, de las conclusiones o de sus argumentos; permitiéndoles que desarrollen algunas habilidades propias del quehacer científico: la formulación de hipótesis, el correcto análisis de resultados o la elaboración de conclusiones a partir de la interpretación de los resultados obtenidos. A continuación, se destacan algunas de las recomendaciones hechas por el profesor, a diferentes equipos, durante la primera sesión:

- ✓ *La **hipótesis** puede ser falsa o verdadera, ¿Cómo lo sabes? Hay que contrastar... con los resultados y siempre le vas a hacer caso a tu información, a tus resultados.*
- ✓ *No se les olvide que, en el **análisis de resultados** [se debe] interpretar lo que me dice la información que obtuve. La **conclusión** es la afirmación o refutación de las hipótesis basado en un argumento.*
- ✓ *Cuidado con las **inferencias**, esto es suponer que tienen algo sin ninguna prueba; eso se llama falacia, eso no se hace. Recordemos que en la ciencia todo se sustenta basado en **argumentos**.*

Durante la revisión de los resultados, de los ejercicios o mientras el profesor expone un tema, los alumnos expresan sus dudas al respecto o sobre cualquier asunto con libertad. Laudelino por su parte, responde a sus interrogantes con respeto y en cada uno de sus comentarios parece tener la intención de transmitirles *cómo es que la ciencia opera y explica cosas*. Por ejemplo, mientras discutían los resultados experimentales, uno de los alumnos pregunta sobre los datos que acompañan a cada uno de los elementos dentro de su tabla periódica; en otra ocasión se habló del vacío o de la decisión de Alemania de no emplear energía nuclear (ver **Tabla 30**) Este comportamiento se presentó con cierta regularidad en cada una de las sesiones observadas.

Tabla 30. Respuesta a algunas de las dudas de los alumnos de Laudelino durante algunas de sus sesiones.	
Escena I Sesión II. Sobre el carácter ácido-base de los óxidos.	
Alumno	<i>¿Los elementos no son ácidos ni básicos? [...]</i>
Laudelino	<i>No.</i>
Alumno	<i>¿Entonces porqué me lo marcan aquí? [Señala su tabla periódica]</i>
Laudelino	<i>Eres un genio al detectar un error común en la gente que produce materiales. ¿La tabla periódica quién la edita? Muchas veces [esa gente] no es química, no es su propósito hacer investigación sino poner en tus manos una herramienta, punto. Puede ser tan mala o tan buena como lo entiendas. Ahora los elementos no lo son, pero los óxidos de esos elementos cuando reaccionan con el agua si lo son.</i>
Escena I Sesión IV. Sobre el vacío.	
Laudelino	<i>Los metales tienden a tener pocos electrones en la parte externa y están relativamente lejos del núcleo ¿se entiende esta parte?</i>
Alumno	<i>¿O sea están como en el vacío?</i>
Laudelino	<i>Siempre están en el vacío. ¿Qué hay entre un átomo y otro?</i>
Alumno	<i>¿Vacío?</i>
Laudelino	<i>Nada, el vacío, ¿si se entiende, se acuerdan quién decía esto? Lucrecio cuando hablamos del atomismo.</i>
Alumno	<i>¿Entonces si puede existir el vacío?</i>
Laudelino	<i>Te lo digo de otra manera entre partícula de aire y partícula de aire, ¿hay aire?</i>
Alumno	<i>¿No se puede llenar el vacío?</i>
Laudelino	<i>¿Con qué? [...] En principio estamos rodeados de campos eléctricos y magnéticos y de luz, pero la luz es un fenómeno raro, chicos si hablamos de materia y sólo materia, entre átomo y átomo no puede haber nada no se pierdan. Si el concepto de vacío es un concepto vacío.</i>

Es probable que, como consecuencia de estas interrogantes, que seguramente se han repetido a lo largo de los años, así como de la reflexión de su práctica docente; Laudelino haya decidido que una buena forma de mantener a los alumnos motivados y de potencializar sus habilidades, científicas o no; es pedirles la escritura de narrativas o cuentos en los que la trama contenga alguna referencia a la química. La importancia que le concede a esto es evidente, ya que durante la tercera sesión se dedicó alrededor de 30 minutos a la lectura de estas historias. Debido a la riqueza de este ejercicio y a que algunos de los alumnos hablan sobre el enlace en sus historias, estos resultados serán presentados a detalle más adelante.

Después de las narrativas, Laudelino inicia propiamente la introducción al tema del enlace. Comienza recordando mínimamente, los resultados de la actividad experimental en donde identificaban metales o no metales según sus propiedades.

Por lo expresado en este momento, es posible afirmar que se realizó cómo fue relatado en la entrevista (**pregunta 7**). A continuación, empieza a describir las propiedades de los diferentes tipos de sustancias reticulares y a relacionarlas con sus interacciones, en la **Tabla 31.**, se encuentra ejemplificada la situación anterior.

Tabla 31. Sustancias reticulares y sus propiedades, por el profesor Laudelino.
Escena I, Sesión III. Redes iónicas
<i>De manera imaginaria agarren un cubito de sal y péguenle con un martillo. Se hace pedazos ¿verdad? ¿Qué es lo que pasa y porqué se rompe? Si Uds. empujan hacia acá se van a empezar a mover los iones si esto se mantiene quieto, va a llegar un momento en el que este [ion] negativo ¿con quién se va a emparejar? Con otro [ion] negativo y cuando coincidan [iones] negativos frente ellos y [iones] positivos frente a ellos ¿se repelen poquito o mucho? ¿Qué les va a pasar a los cristales? Se rompen, se separan. [...] Las sales tienen a ser frágiles al contrario de los metales que les pego y les pego y no se rompen; se deforman porque sus electrones sirven de pegamento [...] eso es lo que me explica maleabilidad.</i>

Laudelino no profundiza en estos temas durante esa sesión más allá de lo que se muestra en la **Tabla 31**. En cambio, comienza a hablar de las características de dos propiedades periódicas: la energía de ionización y el radio atómico (ver **Tabla 32**). La primera de ellas la emplea para hablar de reactividad, una característica que será importante en las siguientes sesiones en las que presenta la regla del octeto (ver **Tabla 33**). Previamente los alumnos investigaron sobre estas propiedades, lo que les facilita enunciar las tendencias que presentan los metales y no metales y comenzar a integrar todos los temas vistos con las propiedades de los materiales y el enlace. Todos los temas anteriormente mencionados, no son agotados ni se dan por concluidos; al contrario serán retomados en la siguiente clase (cuarta sesión) al igual que los modelos atómicos.

En la entrevista Laudelino comenta que, según su criterio, es de gran importancia que los alumnos comprendan las consecuencias que se derivan de que la materia tenga carga eléctrica, para entender por qué se unen los átomos. Para lograr tal objetivo, revisa brevemente cada uno de los modelos atómicos, sus características y limitaciones, en esta ocasión inicia con el modelo de Bohr; si bien hace pequeñas referencias a los modelos atómicos previos a este: *al revisar los modelos atómicos desde Thompson hasta Bohr, nos dimos cuenta de que la materia*

no es eléctricamente neutra. La presentación que le sirve de apoyo se titula: *¿Qué hace diferentes a los átomos de los metales y los no metales?*

Tabla 32. Las propiedades periódicas, por el profesor Laudelino. Escena II. Sesión III.	
Energía de ionización	
<i>¿Qué materiales tienen energías de ionización bajas? [...] Los metales. Esto es los electrones de los metales tienden a soltarse fácilmente. Si supongo que estos puntos son los núcleos de los átomos, [señala un dibujo de una red metálica] ¿Qué debería estar alrededor? Los electrones estarían ahí como viajando, por eso los metales son excelentes conductores de la electricidad. [...] Entonces los metales con este tipo de arreglos que son redes, tienen electrones que son muy móviles por eso son buenos conductores.</i>	
Radio atómico	
<i>¿Qué pasa con el radio iónico de los metales y los no metales? [...] Si se dieron cuenta que a medida que metía [que agregaba] electrones el tamaño del átomo crecía y si se quitaba electrones el átomo se hacía chiquito. [el profesor hace referencia a los ejercicios realizados con la app] ¿Cómo es el radio iónico de los metales? Bueno los metales tienden a perder electrones se van a hacer grandes... Diferencia importante de metales y no metales.</i>	

Esta sesión cuenta con una gran variedad de anécdotas históricas que el profesor comenta con sus alumnos, de analogías, así mismo de recursos didácticos como animaciones: de la solvatación del cloruro de sodio en agua o del movimiento de átomos y electrones en el modelo de mar de electrones, o el uso de apps: donde a un núcleo atómico se le pueden agregar o quitar neutrones, protones y electrones.

Tabla 33. Escena I. Sesión III. La energía de ionización y la reactividad.	
Laudelino	<i>Uds. Investigaron una propiedad que se llama energía de ionización, ¿Qué significa?</i>
Alumno	<i>La energía para separar un electrón.</i>
Laudelino	<i>La energía para separar un electrón de su átomo, por lo menos uno. ¿Quiénes tienen la menor energía de ionización en esta gráfica?</i>

	<p>ENERGÍAS DE IONIZACIÓN</p> <p>1ª energía de ionización (kJ/mol)</p> <p>Número atómico</p>
Alumno	<i>Los del grupo uno</i>
Laudelino	<i>Podemos reconocer solo por las energías de ionización que los electrones de los metales tienden a estar sueltos con tantita energía se separan. Por el contrario ¿Cuáles de todos los elementos tienen las energías de ionización más altas?</i>
Alumno	<i>El helio, los gases raros.</i>
Laudelino	<i>Que significa que no reacciona... entre más me parezca a un gas noble, mi energía de ionización es alta y entre más me alejo mi energía de ionización es más baja.</i>

La quinta sesión da continuidad a los temas previos pero en ella incluye a la electronegatividad, el modelo atómico de Lewis, la regla del octeto, el modelo de enlace de Pauling y las *reglas de dedo* para la construcción de estructuras de Lewis⁵. Laudelino no se limita a la exponer ampliamente estos temas, sino que constantemente busca interactuar con sus alumnos, a través de la resolución de ejercicios, del planteamiento de situaciones hipotéticas o de la escucha atenta de sus dudas. En la segunda mitad de la sesión, se habla de las propiedades de los materiales y el enlace, a partir de este momento el profesor comienza a clasificar a las sustancias de acuerdo a sus propiedades y su estructura química (ver **Figura 13**). Las dos sesiones siguientes (sexta y séptima) son dedicadas en gran medida a la construcción de las estructuras de Lewis, pero también se incluyen algunos ejercicios de predicción del tipo de enlace según la diferencia de electronegatividad que presente y las propiedades que exhiba.

⁵ Algunas de ellas son: 1. El hidrógeno sólo puede formar un enlace, conviene colocarlo al final. 2. El número de electrones con los que pueden formar enlaces los elementos coincide con el de su familia para elementos representativos. Entre otras.

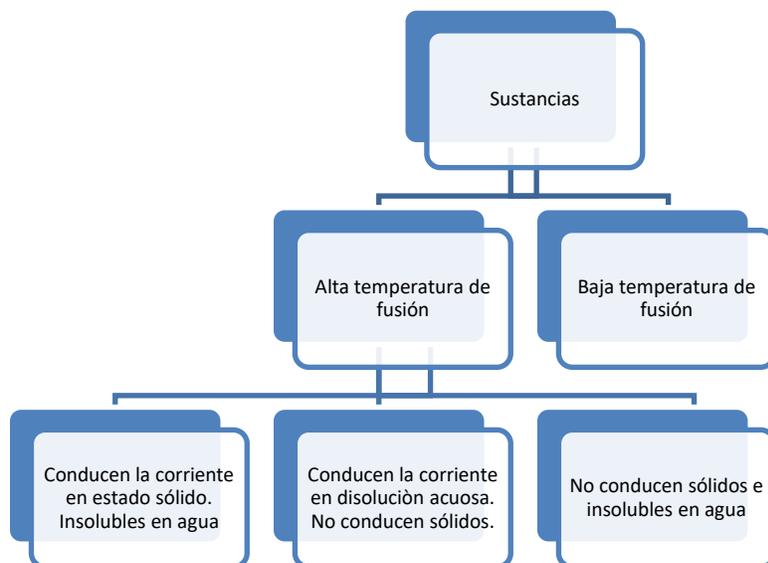


Figura 13. Clasificación de las sustancias realizada por Laudelino dentro de su secuencia, la cual coincide con la propuesta planteada por Sosa *et. al* (2008).

La secuencia termina con una actividad experimental en la que los alumnos deben de predecir el tipo de enlace que podría tener una sustancia en particular. Mientras Laudelino les entrega una muestra desconocida a cada equipo, les pregunta: *¿Cuáles son las propiedades que puedo asociar con el par de electrones?* A los alumnos no les es difícil responder que medirán el punto de fusión, la solubilidad y la conductividad eléctrica en agua. Al terminar las mediciones, Laudelino les asigna a cada equipo el nombre de una sustancia, a partir de esto deben construir su estructura de Lewis, analizar los resultados obtenidos y compararlos con los presupuestos teóricos que han desarrollado a lo largo de la secuencia, también les advierte que puede o no haber correspondencia entre la muestra y el nombre de la sustancia asignada. Después de estas indicaciones, los alumnos se disponen a redactar el informe experimental; con la guía y retroalimentación constante del profesor:

¿Qué cosas tienen que tomar en cuenta para redondear sus resultados? Sus resultados teóricos: la estructura de Lewis y la diferencia de electronegatividad, más los resultados experimentales reales que acaban de obtener... ¿Cuánto se acercan los resultados a la predicción? Entonces en tus conclusiones ¿qué puedes decir? Que con las propiedades de un material puedo predecir el tipo de enlace.

4.3.1. La regla del octeto

En todos los libros consultados la regla del octeto es el principio explicativo del porqué ocurre el enlace, evidenciando que forma parte medular de su enseñanza. Por lo general así es enunciada: los átomos se combinan para alcanzar o adquirir una configuración electrónica estable o parecida a la de un gas noble, mediante la transferencia de electrones de un átomo a otro, o bien, por el hecho de compartir uno o más pares de electrones.

De acuerdo con lo anterior, si se conoce la configuración electrónica de los átomos antes y después de que participen en una reacción, es posible *acomodar* los electrones de cada uno de ellos para que sumen *ocho*; definiendo así el número y tipo de enlaces formados. Tal pareciera que el objetivo es que el alumno *[aprenda] a utilizar las configuraciones electrónicas y la tabla periódica para predecir los tipos de enlaces que formarán los átomos, así como el número de enlaces que puede formar un átomo y la estabilidad del producto* (Chang, 1999 y 2011). Según este enfoque, el enlace es consecuencia de la formación de octetos; por lo tanto, lo importante es que los alumnos utilicen la regla para la clasificación de los compuestos en iónico o covalente.

En el discurso didáctico empleado por los libros de texto, a la regla del octeto también se le relaciona indirectamente con la reactividad. Esta relación es evidente durante la presentación del modelo del enlace iónico a través de la llamada *historia de la formación de iones*, donde se describe como un átomo de sodio le cede un electrón a un átomo de cloro para que cada uno de ellos pueda completar su octeto. Es decir, se describe lo que ocurre *en* la reacción química de formación del cloruro de sodio, ejemplo que es utilizado universalmente en los títulos revisados. Laudelino también incluye la regla del octeto en su secuencia, pero el planteamiento que hace es interesante por varias cuestiones:

- ✓ Es un criterio para explicar reactividad: *Lewis al reconocer este asunto de la estabilidad química de los gases nobles y suponiendo que el criterio de estabilidad va primero, entonces los átomos al reaccionar ganan, pierden o comparten electrones. Ganar, perder o compartir electrones implica la formación de enlaces, si un átomo tiene su capa externa llena entonces deja de reaccionar.*

- ✓ Emplea un gran número de ejemplos y menciona sus excepciones o limitaciones, por ejemplo: el hidrógeno, el osmio o los hidrocarburos (ver **Tabla 34**); en un aparente esfuerzo por aminorar los efectos negativos reportados la literatura. Por otra parte, en solamente cuatro de los diez títulos consultados se mencionan dichas excepciones; que las clasifican en tres categorías: un octeto incompleto, un octeto expandido o un número impar de electrones en un átomo que conforme una molécula o ion poliatómicos. Categorización coherente con las excepciones o limitaciones planteadas por el profesor.
- ✓ Menciona con brevedad el trabajo de Lewis y su contexto histórico. En ninguno de los títulos consultados se hace la mínima referencia al trabajo de Lewis dentro de una perspectiva histórica; en el Brown (2009) se limitan a incluir su biografía.

Posteriormente enumera lo que denomina “*las reglas de dedo*” de estructuras de Lewis, las siguientes sesiones realiza ejercicios de lápiz y papel en las que sus estudiantes construyen estructuras de compuestos sencillos, principalmente de óxidos.

En el cierre de la secuencia del enlace químico, Laudelino les pide a sus alumnos que a través de las estructuras de Lewis clasifiquen todos los enlaces presentes en un compuesto y con la ayuda de otros criterios (como la electronegatividad) *analicen en conjunto toda la estructura*, prediciendo qué propiedades podrían presentar (solubilidad y conductividad eléctrica). Es decir, Laudelino emplea la regla del octeto como la forma en la que:

Representamos cómo se acomodan los electrones en un compuesto; si no sé la estructura no puedo saber qué uniones tengo entre los átomos, si no sé las uniones no puedo saber el tipo de enlace; por eso las estructuras de Lewis son tan importantes.

Considero que el manejo que el profesor Laudelino hace de la regla del octeto dentro de su secuencia es adecuada, ya que les brinda a sus alumnos un pequeño contexto histórico del trabajo de Lewis, la emplea como una herramienta para dibujar la estructura de moléculas sencillas y la visualización de los diferentes tipos de enlace que ésta posee y discute abiertamente sus limitaciones y excepciones. Esfuerzos que, sin duda, podrán contribuir, a futuro, al correcto entendimiento del enlace de aquellos alumnos que deseen cursar una carrera científica.

Tabla 34. Diferentes aspectos a la regla del octeto, por el profesor Laudelino.

Escena I. Sesión IV. Introducción (Fragmento)

Laudelino	<i>Lewis al estar revisando reactividad se da cuenta de que podía utilizar el concepto de electrón y el concepto de gas noble para explicar reactividad. Y se dio cuenta de que había materiales que eran muy reactivos, otros que eran menos reactivos y otros que no reaccionaban para nada. Identificando como era esa tendencia y sobre todo la capacidad de combinación; el postulo [...] que: al tener ocho electrones en la última capa tenemos estabilidad química y eso lo llamo ley del octeto. Entonces hay uniones entre átomos para formar compuestos de forma que los dos átomos que participan al final tengan una configuración de gas noble. Listos este es el hidrogenito, ¿a quién se va a querer parecer? Eso de querer es nada más una analogía eh. Al Helio (He) y el H ¿Cuántos electroncitos tienen en su capa externa de valencia?</i>
Alumno	<i>Dos</i>
Laudelino	<i>Por lo tanto, ¿el hidrogenito tiene un octeto de cuánto?</i>
Alumno	<i>¿De dos...? ¿Por qué?</i>
Laudelino	<i>El He es el primer gas noble. Su configuración es de dos electrones en el primer nivel, su octeto es de dos.</i>
Alumno	<i>Entonces su octeto... ¿quiere parecerse al gas noble de su fila?</i>
Laudelino	<i>Si lo quieres poner con muchas comillas lo de quieren sí. En realidad, si alcanzamos configuración de gas noble el átomo deja de ser reactivo.</i>

Excepciones y limitaciones.

Escena II. Sesión IV.

Búsquenme el grupo en donde está el osmio. Hasta arriba del osmio ¿quién está? El hierro, la carga del hierro puede ser dos y tres, ¿cuántas cargas tienen el osmio? [varios alumnos a la vez responden] Como a media que bajo [en el grupo] tengo muchos electrones en la capa externa también la cantidad de uniones que puedo hacer se vuelve muy grande. Entonces [el octeto] como regla fija si funciona para estos los extremos de la herradura de la tabla periódica; por eso a estos elementos se les llama elementos representativos. Si porque se comportan muy bien, son monos.

Escena III. Sesión V

Alumno	<i>Maestro y ¿siempre tiene que terminar todo con ocho?</i>
Laudelino	<i>Te lo digo fácil el hidrógeno ¿Cuántos como máximo?</i>
Alumno	<i>Dos</i>
Laudelino	<i>El hidrógeno tiene un octeto de dos; entonces con un par de electrones es suficiente</i>
Alumno	<i>¿Y esto se cumple con los alcanos, alquenos y alquinos?</i>
Laudelino	<i>No, en general la regla del octeto te explica muchas cosas, pero si tiene varias limitaciones.</i>

4.3.2. La clasificación de las sustancias

Las propiedades de los materiales son uno de los criterios empleados por los libros de textos revisados, para la clasificación de los enlaces; la temperatura de fusión, la solubilidad en agua y la conductividad eléctrica en sólido y disolución: son consideradas para su estudio. Ambos profesores las incluyen durante sus clases, pero en vez de enumerarlas las emplean como un medio para discutir y reflexionar sobre la relación que existe entre éstas y las diferentes estructuras químicas que los materiales presentan; además matizan sus diferencias y mencionan casos excepcionales, como el vidrio y el grafito. Caso contrario, lo planteado por Phillips (2000): *Si conoces el tipo de enlace que hay en un compuesto, puedes predecir muchas de sus propiedades físicas. [...] También puedes razonar en sentido opuesto: si conoces las propiedades físicas de un compuesto desconocido, puedes predecir su tipo de enlace.*

Por su parte, Laudelino toma ejemplos de la vida cotidiana y plantea situaciones hipotéticas; en su intento por guiar a los alumnos en el entendimiento de la relación que guardan cada una de estas propiedades con la estructura interna de los materiales en cuestión (ver **Tabla 35**). Dentro de las propiedades Laudelino utiliza una que raramente es mencionada: la volatilidad; específicamente habla de las pastillas de baño (para-diclorobenceno) y de la naftalina, sustancias con las que pueden entrar en contacto los alumnos:

Las pastillas aromatizantes de baño tienen un aroma que se percibe inmediatamente ¿cierto o falso? Cierto. El hecho de que podamos percibir el aroma de algo, también me tiene que dar un indicio de que tan fuertemente están atraídas sus partículas. [...] Ya que si estuvieran muy juntas no olería a nada, porque para que lleguen a tu nariz tienen que moverse de donde están y viajar a tu nariz.

Laudelino emplea esta propiedad para relacionar un número mayor de características con el enlace, en este caso se trata del estado de agregación; ya que menciona que por lo general las sustancias moleculares o discretas pueden ser gases, líquidos, sólidos volátiles (otro ejemplo utilizado el yodo) o con bajos puntos de fusión menores a 400 C; mientras que las sustancias reticulares son sólidos con altos puntos de fusión. En consecuencia a lo anterior, plantea una clasificación de

las sustancias que se encuentra en la **Figura 14**. Adicionalmente, incluye una explicación de las distintas características que presentan las sustancias moleculares y atómicas.

En general las sustancias que forman partículas discretas se llaman covalentes moleculares ¿Qué tipo de enlace van a tener? Covalente. Cuando digo compuestos discretos son los que tiene partículas independientes eso quiere decir discreto. Hay otro tipo de sustancias que no requieren de otras sustancias para completar sus octetos: los gases nobles y a esa les llamo sustancias atómicas.

En lo relativo a las propiedades de los metales, Laudelino, previo al inicio de la secuencia, realiza una actividad experimental en la que confronta el conocimiento previo de los alumnos al respecto y sus concepciones alternativas con las propiedades que presentaron los metales o no metales empleados. Adicionalmente a esto, el profesor continuamente relaciona las propiedades con el modelo del mar de electrones, pero sin nombrarlo de esta manera. En sólo tres de los diez títulos consultados se encuentra incluido el estudio del enlace metálico y las propiedades de los metales.

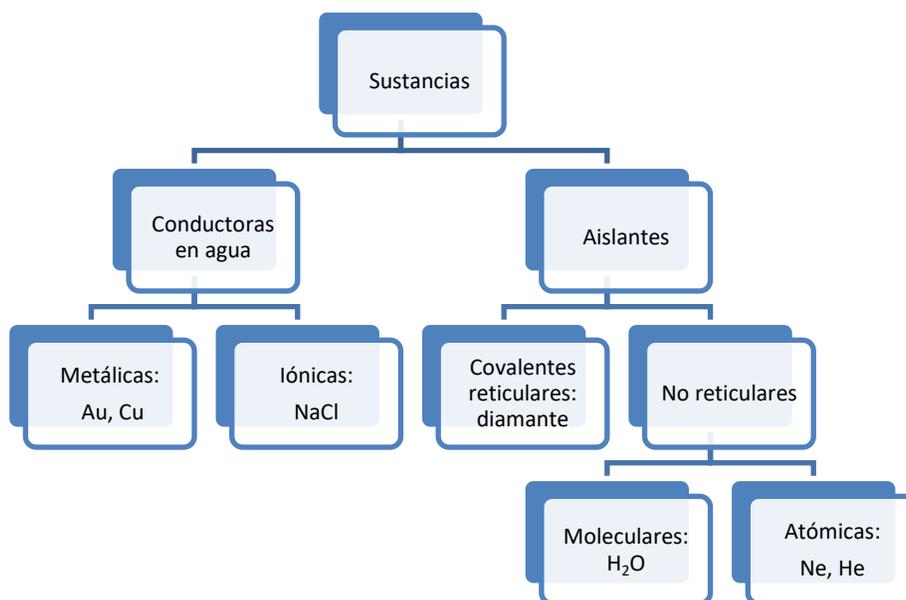


Figura 14. Clasificación de las sustancias y el modelo de enlace correspondiente, realizada por Laudelino dentro de su secuencia, la cual coincide con la propuesta planteada por Sosa *et. al* (2008).

Otro criterio empleado por los libros de texto consultados para la clasificación de los enlaces en iónicos y covalentes, es la electronegatividad. Todos ellos, en mayor o menor medida mencionan las características fundamentales de la electronegatividad, construyen tablas o intervalos donde la diferencia de electronegatividad permite clasificar los compuestos en iónicos o covalentes, para finalizar se realizan ejercicios sencillos de lápiz y papel. En el caso de los profesores tampoco profundizan en las cuestiones teóricas que asociadas a la electronegatividad, si bien, ambos destacan que más que *tratarse de una propiedad es una tendencia*. Laudelino, para finalizar las cuestiones teóricas del enlace, presenta el tetraedro de las sustancias y menciona algunos de las características principales de algunos compuestos representativos:

Resumiendo, este asunto de las uniones [los enlaces] nada es 100% covalente ni 100% iónico, sino que hay escalas de grises y esas escalas me las dan las propiedades de los materiales; sin embargo, para fines prácticos me conviene definir los tipos de enlace de manera clara.

A su vez, la mayoría de los autores indican que *hay un continuo entre los extremos de los enlaces iónicos y los covalentes* (Brown, 2009). Es decir, plantean las limitaciones propias de cada modelo y la existencia de enlaces intermedios. Sin embargo, no se profundiza en esta cuestión ni se incluye el estudio del enlace metálico; entonces con esta mínima advertencia no es de sorprender que los alumnos consideren como auténticos únicamente a los enlaces iónicos o covalentes. Esta deficiencia, puede ser resultado de la resistencia a abandonar la practicidad de emplear criterios sencillos para la clasificación del enlace.

Por ejemplo, el cálculo de diferencia de la electronegatividad (ΔX) sólo puede ser una herramienta sencilla y aplicable en el análisis de enlaces binarios heteroatómicos. ¿De qué otra manera podrían calcular los alumnos esta diferencia en moléculas como el Na_2CO_3 si sólo se les pide consultar un listado de valores arbitrarios para realizar una resta? ¿Qué significado puede tener este valor? Además, aunque esta dificultad algorítmica pudiera ser superada, el problema real del empleo del ΔX como criterio para la clasificación de los enlaces es la falta de

correlación entre los resultados obtenidos y las propiedades que presentan los compuestos.

En este punto, pareciera que la intención del profesor Laudelino al enseñar construcción de las estructuras de Lewis, es mostrar las limitaciones de este criterio, conseguir una visión de todos los enlaces presentes en una molécula y hacerles notar a que la suma de todas las uniones e interacciones presentes en un compuesto en particular influyen en la manifestación de las propiedades del compuesto en cuestión.

4.3.3. Los modelos

En los títulos de Garritz (1984), Phillips (2000) y Rico (2012), se encontraron referencias al uso de los modelos en la química; mientras que en el resto de ellos simplemente se emplea el término sin dar más explicaciones. En el texto de Garritz únicamente se encontró la siguiente afirmación sobre *los **modelos científicos** [que] simulan un aspecto de la realidad, son creaciones del hombre que le ayudan a interrogar y comprender mejor.*

Por otra parte, Phillips afirma que *los modelos relacionan la perspectiva macroscópica y submicroscópica, que son herramientas que permiten estudiar lo que de hecho no puedes ver, [como] la colocación de los átomos [en una molécula] y que en ocasiones, un modelo es algo que se puede ver y manipular, estos son construidos sobre la experimentación, por lo cual, se someten a prueba y se revisan constantemente durante nuevos experimentos.*

Rico también plantea de manera similar varios de los aspectos descritos por Phillips para el estudio de los modelos como: *uso para relacionar el comportamiento observado con la estructura de la materia* (ver **Figura 15**). Sin embargo, los modelos son representaciones, no están limitados a ser un conector lineal entre el comportamiento y la estructura de la materia (también es un modelo), ya que en muchas ocasiones los modelos son un objeto de estudio en sí mismo. Por lo tanto, aunque dicha información es adecuada para los alumnos de bachillerato, puede

generar confusiones por lo que es altamente recomendable que los alumnos fueran acompañados en su lectura por los docentes.

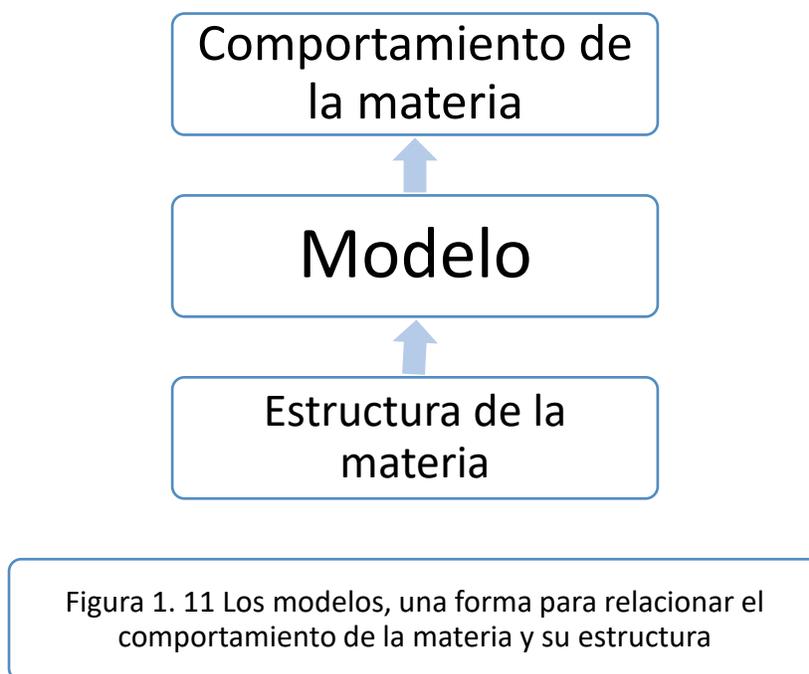


Figura 15 Relación entre los modelos y la estructura de la materia. Tomado de A. Rico Galicia, R. E. Pérez Orta, *Química I. Agua y Oxígeno*, Tercera Edición de la Cuarta Edición, UNAM-CCH, México, 2012, pág. 47.

En los primeros minutos de la entrevista al profesor Laudelino, afirma que gracias al enlace los chicos pueden *aplicar modelos [y] construir la idea de cómo opera la ciencia y cómo explica cosas*. Reconoce que dentro de la propuesta tradicional del enlace se describen primero las características de los modelos de enlace y luego se enumeran las propiedades que acompañan a estos modelos, lo que es erróneo según sus propias palabras:

Si, el asunto aquí de empezar por las propiedades es entender a la naturaleza como es. El gran problema de empezar con el modelo, es suponer que la naturaleza se comporta según los modelos y eso no es cierto, nos aproximamos al estudio de la naturaleza con modelos y los modelos medianamente describen algunas de las propiedades de la naturaleza.

Suponer que los modelos son primero es suponer que la imaginación va primero que el mundo, entonces si le hacemos caso a esta idea los unicornios son reales. Entonces, creo que primero es el mundo y ver de qué

manera nos aproximamos al mundo. Por eso para mí es más importante el asunto de las propiedades y poco a poco buscar los modelos que describen de la mejor manera esas propiedades. La [...] naturaleza es muy basta, pero la acotamos.

Esta visión errónea de los modelos y su papel en el desarrollo del conocimiento científico es similar a lo expuesto en el texto de Rico (2012), el cual fue discutido con anterioridad (página 97, **Figura 15**). Aunque Laudelino es consciente no sólo de las características de los modelos sino también de la importancia de éstos dentro de la enseñanza de las ciencias; considera que debido al programa de estudios del colegio y su normativa, es difícil su implementación:

Hablar de modelos tendría que llevarse un mes y medio, dos meses, porque hay que ver evidencias y limitaciones de los modelos, no se puede entonces hacemos un salto de fe.

A pesar de esto, el profesor parece hacer un esfuerzo por incluir en su propuesta de enseñanza el desarrollo de habilidades de modelización en sus alumnos, a través del diseño e implementación de situaciones hipotéticas denominadas “ejercicios mentales” (ver **Tabla 36** y **37**). Para que los alumnos den una respuesta a estas interrogantes es necesario que primero elaboren un modelo mental, con el que puedan explorar y plantear diversas soluciones o situaciones que les permitan comprender mejor el fenómeno en cuestión. La elaboración de un modelo mental que dé solución a una pregunta detonante es, según varios autores, el primer paso en el proceso de modelización (Gilbert, 2000). Sin embargo, Laudelino no hace explícito durante la entrevista o en la sesión que el objetivo de estos ejercicios sea el desarrollo de habilidades de modelización; más bien se trata de la incorporación de un ejercicio que le permite explicar las características del enlace desde diferentes perspectivas. Es decir, es un esfuerzo más por transformar su conocimiento en formas, analogías, ejercicios o demostraciones que le sean útiles a sus estudiantes para la comprensión del tema.

Tabla 36. Ejercicio de modelización, por el profesor Laudelino. Escena I. Sesión III.	
Laudelino	<i>¿Cómo dibujarían esto en su cuaderno?</i>
Alumno	<i>Como un panal.</i>
Laudelino	<i>Como un panal, donde en cada vértice, ¿Qué hay?</i>
Alumno 1	<i>Pues un átomo de metal...</i>

Alumno 2	<i>Como un conglomerado.</i>
Laudelino	<i>Si como un conglomerado ordenado verdad no está todo revuelto ni agitado, pues dibujen eso...</i>

Tabla 37. Ejercicios mentales, por Laudelino. Sesión V.	
Primer ejercicio mental	
<i>Están en casita y ven una manchita por ahí en la mesa le pones agua y no se disuelve, pero te acercas y notas que huele. Por esas dos cosas que podrías decir ¿qué es?</i>	
Segundo ejercicio mental	
Laudelino	<i>Imagínense, que tengo unos imanes pintados de amarillo y otros pintados de rojo; los voy metiendo sueltos a una botella de plástico y los empiezo a girar entre sí; eventualmente y suponiendo que no se rompan en el proceso. ¿Qué es lo que voy a ver?</i>
Alumno:	<i>Un conglomerado.</i>
Laudelino	<i>y ¿cómo van a estar los amarillos y los rojos?</i>
Alumno	<i>Juntos y entremezclados.</i>
Laudelino	<i>Ahora dejo la botella donde estoy y la miro a veinte metros de altura ¿qué es lo que ven en la botella? ¿Una sola cosa o dos cosas distintas?</i>
Alumno	<i>Una sola cosa.</i>
Laudelino	<i>Si es tan alto que no puedo mirar las partículas individuales veo todo el conjunto. Nosotros estamos viendo los materiales como si estuviéramos a veinte metros de separación, nunca vemos las partículas lo que vemos es el aspecto general.</i>
Tercer ejercicio mental	
Laudelino	<i>Tomen Bolitas de unicel del mismo tamaño que los imanes rojos y vayan poniendo bolita de unicel, bolita de imán, bolita de unicel, bolita de imán... ahora empiecen a agitarlos eventualmente ¿qué va a pasar?</i>
Alumno	<i>Se van a juntar.</i>
Laudelino	<i>No. Se van a separar porque los imanes se van a quedar con los imanes, las bolitas con las bolitas, no se pegan los imanes se pegan porque son imanes, las bolitas no se pegan porque no se atraen. No me voy a meter con el concepto de carga, solo quiero que piensen en el fenómeno físico. Te llevo a veinte metros de distancia ¿qué vas a ver?</i>
Alumno	<i>Dos cosas distintas.</i>
Laudelino	<i>Si los imanes fueran el agua, ¿que serían las bolitas de unicel?</i>
Alumno	<i>Aceite.</i>
Cuarto ejercicio mental	
Laudelino	<i>Tengo bolitas de unicel rojas y bolitas de unicel amarillas las meto una a una y empiezo a darle vueltas eventualmente ¿qué va a pasar con las bolitas de unicel? Los mismo a veinte metros que van a ver [...] ¿Qué es lo mismo?</i>
Alumno	<i>Se van a juntar</i>
Laudelino	<i>¿Porque se atraen entre sí o porque simple y sencillamente porque no se pelan [no se atraen]?</i>
Alumno	<i>Porque no se pelan.</i>

4.3.4. Aspectos históricos

Es común, que los libros de texto de ciencias omitan la inclusión de aspectos históricos en la presentación de los contenidos. De los diez títulos revisados sólo dos de ellos, incluyen algún *momento histórico* relativo al desarrollo del enlace químico.

A lo largo del texto de Rico (2012) encontramos pequeños recuadros titulados “ENTÉRATE”, donde se presentan estas cuestiones; el correspondiente al enlace químico se titula: “*Las uniones químicas entre átomos*”; en el que se destaca que “*Humphry Davy fue el primero en sugerir que las fuerzas que rigen las uniones químicas son de naturaleza eléctrica*”.



Figura 16. Referencias históricas encontradas en el texto de: J. S. Phillips, V. S. Strozak, C. Wistrom, *Química. Conceptos y aplicaciones*, Primera Edición, Mc Graw-Hill, México, 2000, pág. 130.

Mientras que Phillips al introducir el tema del enlace nos recuerda que en el siglo XIX antes del descubrimiento de los electrones, se pensaba que los átomos poseían pequeños ganchos con los que podían unirse a los ganchos de otros átomos. También incluyen una breve semblanza de las aportaciones de Linus Pauling al entendimiento del enlace químico (ver **Figura 16**).

Por su parte, Laudelino destaca porque al introducir la regla del octeto hace referencia al modelo atómico cubico de Lewis (ver **Figura 17**). Además, con cierta frecuencia comenta alguna anécdota histórica relativa a los conceptos estudiados (ver **Tabla 38** y **39**); generalmente estas son intervenciones breves a menos que alguno de sus alumnos lo cuestione al respecto.

De acuerdo con los resultados obtenidos es posible observar que el tratamiento que le dan los libros de texto o el profesor Laudelino a esta cuestión queda relegada a una simple anécdota, que se incluye más con la intención de evitar la monotonía en el discurso o para inducir curiosidad en los alumnos; ya que no se profundiza en ella ni se discute adecuadamente. De esta manera es difícil conseguir que los alumnos tengan una percepción más adecuada de cómo se construye el conocimiento científico y que se aproximen al entendimiento de aspectos relativos a la historia y la filosofía de la ciencia. Por lo tanto, se recomienda que si los profesores desean incluir estas cuestiones en el aula, sea a través de la reproducción de experimentos históricos, de la discusión o dramatización de situaciones históricas, en donde explícitamente el profesor enuncia los objetivos a perseguir con estas actividades (Justi y Gilbert, 2003).

Tabla 38 La regla del octeto y el modelo atómico de Lewis, por Laudelino. **Sesión V.**

*Estas son las estructuras de Lewis. [Les muestra un esquema similar al de la **Figura 17**] Lewis pensó en cubitos para representar al átomo, no pensó en pelotitas como Dalton, no pensó en sistemas planetarios como pensó Bohr, él dijo: son cubitos.*

Ojo Lewis publica en 1903, Bohr publica en mil novecientos veintitantos, entonces evidentemente muchas de las cosas que Bohr quiere explicar a Lewis no le importan, él quiere hablar de formación de compuestos y estabilidad química.

Entonces si se fijan lo que está representando el paso de A, B, C, es precisamente como al acomodarse estos cubitos forman enlaces. Claro, pensarlo en términos de cubos es complicadísimo; [...] tomo una figura tridimensional y la vuelvo plana y lo que represento en la parte de abajo a su izquierda son estructuras de Lewis para los átomos.

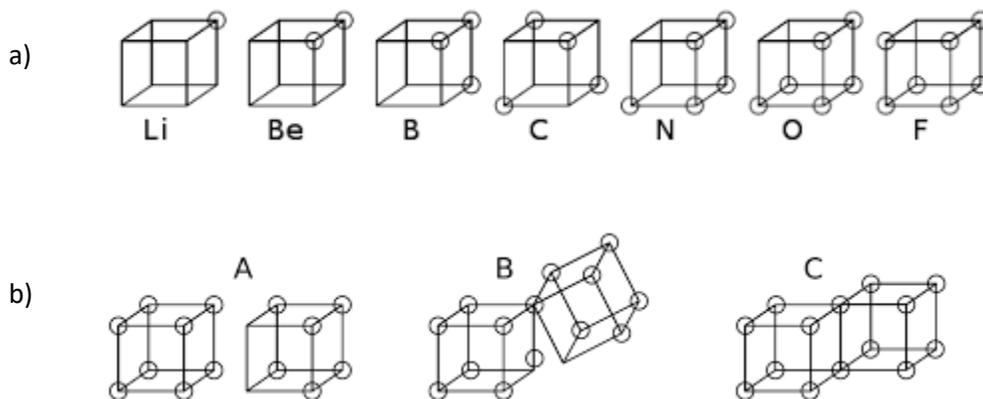


Figura 17. a). Modelo atómico cúbico de Lewis desde el litio al flúor, en las esquinas de cada uno de ellos se muestran sus electrones de valencia. b). Según el modelo atómico cúbico de Lewis representación de: dos átomos aislados (A), un enlace sencillo (B) y un doble enlace (C). La imposibilidad de representar un triple enlace son algunas de las limitaciones de este modelo. Adaptado de M. Croft y K. de Breg, 2014.

Tabla 39. Anécdotas históricas mencionadas por el profesor Laudelino a lo largo de su secuencia.

Escena I. Sesión III

Berzelius si recuerdan fue el papá de la simbología química moderna, Dalton usaba símbolos medio alquímicos, pero Berzelius ya utilizaba los latinajos [...]

Escena II. Sesión III

¿Recuerdan qué hay modelos? Los modelos tienen alcances limitados [...]. Dalton no piensa en términos de orbitales, si estamos con Bohr vamos a hablar de niveles de energía, el modelo de la ecuación de Schrödinger nos dice son orbitales.

Thompson ¿qué hizo?, Thompson lo que hizo fue darse cuenta de que la materia tenía carga eléctrica. Rutherford, lo que hizo fue detectar que esta carga eléctrica estaba acomodada la mayor parte de la masa en el centro del átomo, en algo que llamo núcleo y que tenía toda la carga positiva y a su alrededor los electrones.

Escena I. Sesión IV

¿Qué podemos entender con el modelo de Bohr? Lo que Bohr quería explicar es un fenómeno bien curioso [...] Se dieron cuenta de que si calentaban muestras de elementos emitían luz y si los iluminaban absorbían luz ¿recuerdan? [...] No había ninguna explicación para esto. Bohr es el que propone la explicación [...]

Escena II. Sesión IV

El oxígeno se combinaba con casi todos los elementos. Durante buena parte del siglo antepasado y pasado, fue el valor de referencia para calcular la masa de los átomos era el oxígeno. Como tiene una masa definida en 16, entonces puedo pesar a todos los átomos usándolo de referencia [...].

El carbono a diferencia del oxígeno, tiene un isótopo muy estable que es el carbono doce y se puede definir con mucha precisión que el número de entidades elementales que hay en doce gramos de carbono es una mol.

Además, los físicos tenían un isótopo para pesar y los químicos utilizaban la masa atómica promedio entonces los resultados eran diferentes. Se creó la UIPAC y la unión para el estudio de la física y las convenciones sirven para ponerse de acuerdo: tu isótopo no me gusta, tampoco el tuyo, órale, vamos a ponernos de acuerdo en uno que no afecte y ese fue el carbono doce y se unificaron los pesos.

4.3.5 Las narrativas

Laudelino dedicó parte del tiempo de la secuencia de enseñanza del enlace químico a dirigir un concurso de “historias o narrativas” de formato libre donde los alumnos podían escribir sobre cualquier tema siempre y cuando incluyeran algún aspecto químico dentro de la trama. Los alumnos leían en voz alta sus narrativas que se sometieron a votación. El ganador tiene la oportunidad de que su narrativa sea “publicada” en la plataforma que el profesor tiene y sea reconocida por sus pares como la mejor.

Al finalizar la sesión cuestioné al profesor sobre esta actividad. El profesor dice que la realización de esta actividad no formaba parte de la secuencia, que la incluye como una forma de promover la integración del grupo, el desarrollo de diferentes habilidades de pensamiento, así como para que los alumnos cuenten con un espacio para la expresión de sus ideas respecto a la química y al trabajo científico.

Los temas de las narrativas son diversos, en ellos se exponen diversas temáticas comunes a los adolescentes. En cuanto a la trama química algunos sólo la mencionan vagamente: “... a mi hermana le dicen la tabla periódica porque tiene mil tatuajes con letras...”, mientras que la mayoría dejan ver su visión acerca de la ciencia. Una de las narrativas menciona en varias ocasiones al enlace químico. A continuación se reproduce textualmente su narrativa:

Mi nombre es Anthony Richard el mejor químico del siglo XXII. Bueno hasta hace dos meses, ese yo era. Tras una serie de investigaciones yo habría descubierto la cura contra el cáncer; era tan fácil inyectar ácido nítrico a una manzana en estado de oxidación número ocho este creaba un enlace covalente doble que producía un intercambio de átomos, eso iba a ser el descubrimiento del milenio, con este invento sería rico [...] era una mezcla de gas jabonosa con un metal maleable que formaba un enlace iónico con carga positiva.

En esta narrativa el alumno nos presentan su visión acerca del trabajo científico pero también la asociación que hace de cada modelo de enlace con otros conceptos o con la vida cotidiana. De la realización de este ejercicio el profesor puede extraer notas acerca del pensamiento de sus estudiantes, lo cual sin duda es de gran utilidad.

Adicionalmente, puede favorecer la creatividad, la memoria a largo plazo y el entendimiento en general, tal cual como lo indican algunos estudios realizados por Negrete Yankelevich en el 2014. En su libro "Narrar la ciencia" describe que la disyuntiva entre la ciencia y las humanidades ha lastimado y limitado el conocimiento humano, que el uso de narrativas puede ayudar al desarrollo del conocimiento científico, a la divulgación e incluso a la enseñanza de las ciencias. Propone que los profesores sean quienes elaboren estas narrativas o comics; así mismo un método de análisis para medir su eficacia (el cual no se discutirá en el presente trabajo). Sin embargo, considero que si el profesor se involucra en estas situaciones y guía a sus alumnos se podrán obtener resultados favorables. Aunque más falta investigación al respecto.

4.3.6. Consideraciones finales

La propuesta planteada por el profesor es coherente, los conceptos centrales y sus relaciones son planteadas constantemente a través del uso de diversas estrategias, si bien usa moderadamente un lenguaje cotidiano y antropomórfico, en casi todas las ocasiones lo sustituye después por los términos formales.

Las estrategias, actividades y representaciones empleadas por el profesor a lo largo de su secuencia son adecuadas en nivel de dificultad, duración y frecuencia.

La diversidad de estas ayuda a mantener la atención del alumnado en la sesión y les permite experimentar e interactuar con la información presentada desde diversos ángulos. Algunas de las analogías y ejemplos empleadas por Laudelino son comúnmente usadas en la representación del tema, como el dotar de características antropomórficas a los átomos; mientras que otras son novedosas como el uso de animaciones o la realización de los llamados “ejercicios mentales”.

A pesar de lo anterior y como resultado de la observación del comportamiento de los estudiantes durante las sesiones, considero que es poco el tiempo con el que cuentan los alumnos para ejercitar y fortalecer las diferentes habilidades requeridas para la interpretación, resolución e integración de todos los ejemplos, ejercicios y conceptos vistos en clase, en un modelo coherente que les permita alcanzar un entendimiento adecuado del enlace químico. Recordemos que la secuencia se lleva a cabo en once horas aproximadamente en las cuales, los alumnos tienen que, entre otras cosas, construir estructuras de Lewis, calcular diferencias de electronegatividades o relacionar las propiedades de un compuesto con su estructura química. Tareas de diferente grado de dificultad pero que sin duda pueden ser de gran demanda para aquellos alumnos rezagados.

Por otra parte, es loable el esfuerzo que el profesor hace por incluir en sus clases, ejemplos, actividades o ejercicios, que les permitan a sus alumnos aproximarse al entendimiento de la construcción del conocimiento y el quehacer científico; como son: la inclusión de algunos aspectos históricos o la realización de pequeños ejercicios de modelización. Aunque se trata de pequeños momentos dentro de su secuencia considero que a través de estos, el profesor puede explorar y reflexionar sobre los resultados obtenidos y posteriormente hacer mejoras que le permitan la incorporación exitosa de estos contenidos en su práctica docente.

La propuesta del profesor Laudelino se destaca por incluir un número mayor de características para lograr el entendimiento del enlace. Inicia con el estudio de las diferentes propiedades de las sustancias con el propósito de realizar una clasificación que permita la visualización de las variaciones presentadas y posteriormente de sus diferentes estructuras y consideraciones teóricas como la electronegatividad o las estructuras de Lewis, las cuales deben incorporar para la

predicción y justificación de la asignación de un modelo de enlace para un compuesto en particular. Si bien es cierto, que también incluye el estudio de conceptos que pudieran servir de obstáculos para la correcta comprensión futura del enlace como la regla del octeto; considero que la propuesta es robusta y tiene más fortalezas que debilidades, ya que les presenta a sus alumnos una visión amplia del enlace.

5 El protocolo de observación

La observación de las sesiones que los profesores dedican al tema del enlace químico fue posible evaluarla gracias al empleo del **RTOP** (Protocolo Reformado de Observación a la Enseñanza, por sus siglas en inglés); para cada uno de los apartados evaluados se elaboró una gráfica con la que es posible discutir conjuntamente las puntuaciones asignadas a cada profesor. En estas gráficas (de la **9** a la **13**) se puede observar, por ejemplo: que ambos docentes obtienen la misma puntuación en varios aspectos de la cultura de clases como son: la generación de un ambiente de respeto en el aula, la escucha atenta y la promoción de la comunicación de las ideas de los estudiantes; aunque difieren significativamente en los aspectos restantes. Para facilitar la discusión y la lectura de los resultados obtenidos se incluirán las preguntas de cada sección que conforman el **RTOP** según se vayan discutiendo.

El protocolo de observación no sólo enriquece la lectura de los resultados obtenidos durante la entrevista sino que también recoge características que no pudieron ser evaluadas directamente durante la misma. Para consultar las coincidencias entre los diferentes aspectos evaluados con ambos instrumentos véase la **Tabla 40**.

Tabla 40. Relación de los aspectos del CPC evaluados por la entrevista y el protocolo de observación.		
Entrevista	Componente del CPC	RTOP
1. ¿Qué importancia le das al tema del enlace químico en el curso que impartes?	C. Entendimiento científico de los estudiantes y creencias	---
2. ¿Cuáles son los conceptos centrales asociados al tema del enlace químico?	---	IV. Conocimiento proposicional (ítems A y B)
3. ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender este concepto?	A. Orientaciones C. Entendimiento científico de los estudiantes y creencias	IV. Conocimiento proposicional (ítem E)
4. ¿Qué intentas que aprendan con esta idea?	A. Orientaciones	---
5. ¿Qué más sabes sobre esta idea que no le enseñes a tus estudiantes?	A. Orientaciones C. Entendimiento científico de los estudiantes y creencias	---
6. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas al aprendizaje de este concepto? (estudiantes)	C. Entendimiento científico de los estudiantes y creencias	IV. Conocimiento procedimental (Ítem A y B). V. Relaciones profesor/estudiante (ítems D y E)
7. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de este concepto? (profesor)	A. Orientaciones C. Entendimiento científico de los estudiantes y creencias	IV. Conocimiento proposicional (ítems B y C)
8. ¿Qué conocimientos acerca del pensamiento de los estudiantes influye en tu enseñanza de este concepto?	C. Entendimiento científico de los estudiantes y creencias	IV. Conocimiento proposicional (ítem C)
9. ¿Qué procedimientos empleas para que los estudiantes se comprometan con el concepto (analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones, reformulaciones, etc.)?	A. Orientaciones E. Conocimiento de las estrategias instruccionales	III. Diseño e implementación de la lección. IV. Conocimiento proposicional (ítem D) y procedimental (Ítem A y B). V. Interacciones comunicativas (ítem A). V. Relaciones profesor/estudiante (ítem B).
10. ¿Qué formas específicas utilizas para evaluar el entendimiento o confusión de este concepto?	A. Orientaciones D. Conocimiento de la evaluación científica	III. Diseño e implementación de la lección (ítem D).

		IV. Conocimiento procedimental (Ítems D y E).
11. ¿Consideras que esta evaluación le permite reflexionar sobre lo que ha aprendido y como lo ha hecho?	D. Conocimiento de la evaluación científica	---
12. ¿Cómo esperas que el aprendizaje de este concepto impacte en la vida cotidiana de tus estudiantes?	E. Conocimiento de las estrategias instruccionales	IV. Conocimiento proposicional (ítem E) y procedimental (ítem A).

5.1 Información previa

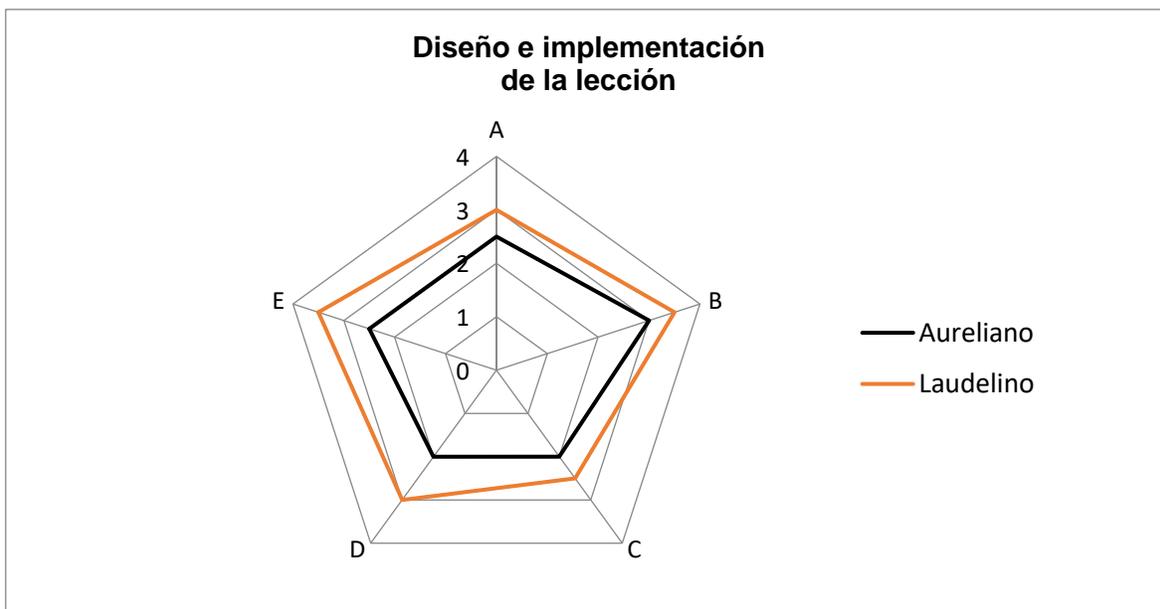
Muchos de los datos que recoge el RTOP en esta sección fueron también incluidos durante la entrevista, como son la experiencia profesional del profesor o las características del grupo. Por lo tanto, no serán presentados nuevamente aquí.

5.2. Contexto del salón

Ambos profesores trabajan en un contexto similar lo que permite que los resultados obtenidos en relación al CPC y el **RTOP**, puedan ser discutidos conjuntamente. Aunque trabajan en planteles diferentes las condiciones físicas de ambas aulas son prácticamente idénticas: cuentan con un pizarrón, cañón, mesas con acceso a instalaciones de luz, agua, gas y están bien iluminadas, las características socioeconómicas de sus estudiantes son similares y ambos grupos cuentan con la presencia de alrededor de 25 o 30 alumnos por sesión. Una de las pocas diferencias que se encontraron en este aspecto fue que el profesor Aureliano trabaja en el turno vespertino mientras que Laudelino lo hace en el matutino. La cronología de los sucesos ocurridos durante la observación de las sesiones se incluyó durante la discusión acerca de la secuencia de enseñanza de cada uno de los profesores evaluados.

5.3. Diseño e implementación de la lección

Cada sección del **RTOP** consta de 5 preguntas. En la primera de ellas se evalúan aspectos generales del diseño e implementación de la lección, los cuales están fuertemente relacionados con el modelo de enseñanza que posee cada profesor (componente **A**: orientaciones). Debido a que cada una de las características evaluadas en esta sección, parece ser que los autores comulgan con un modelo de enseñanza de tipo constructivista. Por ejemplo: muestran un especial interés en evaluar la exploración y comunicación de las ideas previas de los estudiantes, así mismo, de la reflexión que ellos hacen al respecto. Es importante señalar que sólo si los estudiantes hacen conscientes o explícitas sus ideas previas, entonces puede ocurrir más fácilmente el “cambio conceptual”, piedra angular del constructivismo (Campanario, J.M y Moya, A, 1999). En la **Gráfica 9**, se encuentran los resultados obtenidos en la evaluación de esta sección para cada profesor.



Gráfica 9. Resultados obtenidos por cada profesor durante la observación de clases, correspondiente a la sección III del RTOP.

A. Las estrategias y las actividades respetan el conocimiento previo de los estudiantes y las concepciones alternativas de los estudiantes al respecto.

Dentro de un modelo de enseñanza constructivista, es de vital importancia que el profesor cuente con un fuerte conocimiento no sólo de las concepciones alternativas con el que los alumnos cuentan, sino de su naturaleza y origen; ya que de este entendimiento se derivan el tipo de estrategias que deberá diseñar o emplear para conseguir que sus alumnos logren modificarlas. Este ítem tiene, principalmente, una fuerte relación con el componente C del CPC: el conocimiento que el profesor posee respecto al entendimiento científico de los alumnos.

Ambos profesores tienen un amplio conocimiento de estas cuestiones. Al inicio de la secuencia o en la realización de las actividades experimentales, permiten que sus alumnos expresen con libertad sus ideas; para retomarlas y confrontarlas al cierre de la actividad. En otras ocasiones, en el mismo instante en que sus alumnos expresaban alguna concepción alternativa, le señalan el error.

B. La sesión fue diseñada para que los estudiantes se sientan como miembros de una comunidad de aprendizaje.

En el presente caso, se interpretó como una comunidad de aprendizaje, aquella en la que los alumnos se reúnen para resolver o llevar a cabo alguna actividad mediante la participación y colaboración activa de cada uno de sus miembros. Los autores del RTOP, afirman que, sumado a lo anterior, una comunidad de aprendizaje puede ser interpretada en el mismo sentido que una comunidad científica, donde el conocimiento se construye socialmente. Durante la observación se evaluó positivamente a ambos profesores cuando promovían que sus alumnos trabajaran según los lineamientos anteriores. La elaboración del informe de cada una de las actividades experimentales, es un claro ejemplo de esta cuestión.

C. En esta sesión, los estudiantes exploran antes de la presentación formal.

Este ítem, está fuertemente relacionado con el primero. Nuevamente, se evaluó el manejo que los profesores hacen del conocimiento previo con el que cuentan sus estudiantes, que dentro de un modelo de enseñanza constructivista; es de gran importancia que los alumnos sociabilicen sus ideas y experiencias previas con el fenómeno, antes de la presentación formal del tema. En este tema en específico y

debido a que dedica más tiempo al desarrollo de la secuencia, en la que presenta una mayor cantidad y diversidad de actividades, Laudelino resultó mejor evaluado que el profesor Aureliano.

D. En esta sesión, los estudiantes fueron alentados para ver y evaluar modos alternativos de investigación o de resolución de problemas.

El subcomponente **A2** del CPC está relacionado con problemas o actividades difíciles que suponen un reto para los estudiantes, en donde se muestra una relación entre los conceptos y el fenómeno. Para dar solución a un problema o actividad que cumpla con estas características, los alumnos necesariamente deben desarrollar modos alternativos de investigación o resolución de problemas, es decir, requieren pensar de manera divergente o creativa. En este ítem se evalúa la situación anterior, la cual se pudo observar cuando Laudelino realiza los llamados “ejercicios mentales” o en la actividad experimental final, donde los alumnos no tienen que dar con *una* respuesta correcta sino argumentar la respuesta dada.

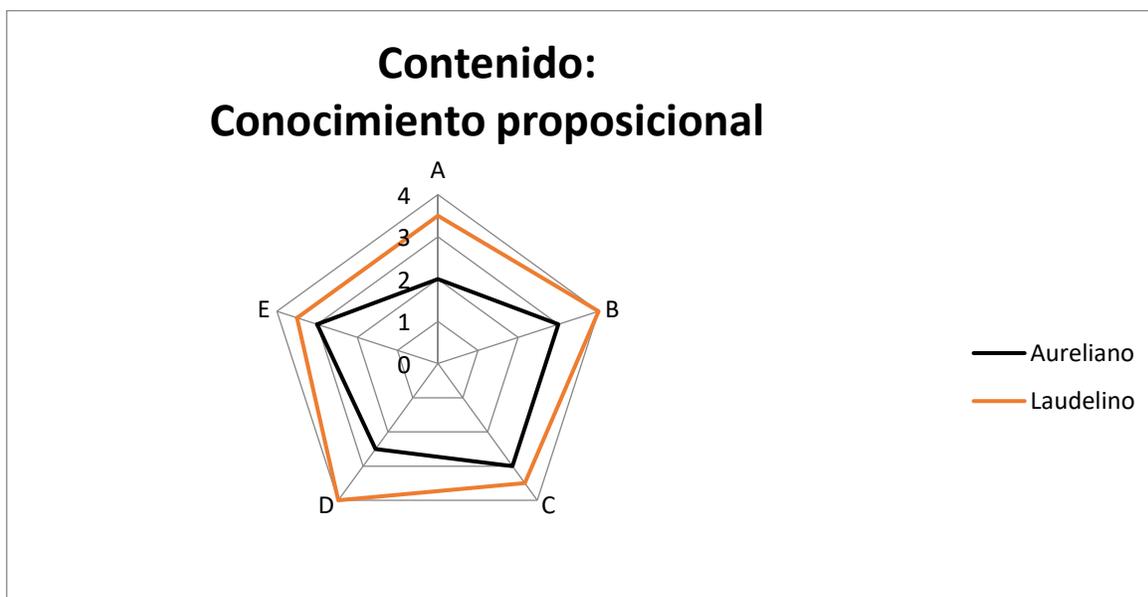
E. La atención y dirección de la sesión a menudo fue determinada por ideas originadas con los estudiantes.

En este ítem se evalúan varios aspectos relacionados entre sí. El primero: la comunicación entre el profesor y los alumnos, característica que no se evalúa directamente en el CoRe pero que al usar el RTOP permite una mejor lectura de los resultados. Es importante que los alumnos no sólo puedan expresar sus ideas o dudas con libertad sino que también sean escuchadas y resueltas; lo que sin duda es de gran ayuda durante el proceso de enseñanza-aprendizaje. El segundo: la administración y el manejo del aula, si la sesión es rígida o estructurada, los alumnos no tienen la oportunidad de explorar o contrastar sus ideas. No se busca que esto ocurra de principio a fin, sino que por lo menos una vez se presente. Si esto ocurre con demasiada frecuencia, se corre el riesgo de que los alumnos se dispersen o se distraigan. Como ocurrió en una de las sesiones del profesor Laudelino, donde los comentarios hechos por los alumnos respecto a varios temas relacionados o no con la asignatura, le restaron alrededor de 20 minutos de clase.

5.4. Contenido

Esta sección se divide a su vez en dos sub secciones: conocimiento proposicional y procedimental. La primera de ellas, se enfoca en el nivel de abstracción, significado y conexiones que el profesor crea entre los conceptos centrales (conocimiento disciplinar), otras disciplinas y la vida cotidiana. En la segunda, se evalúan situaciones relativas a la dinámica del grupo, las estrategias o actividades empleadas, la evaluación y el razonamiento científico. En la **Gráfica 10**, se encuentran los resultados obtenidos para la primera subsección y en la **Gráfica 11**, los de la segunda subsección.

5.4.1. Conocimiento proposicional



Gráfica 9. Resultados obtenidos por cada profesor durante la observación de clases, correspondiente a la sección IV del RTOP.

A. La sesión involucra conceptos fundamentales del enlace químico.

En este ítem y en las dos primeras preguntas de la entrevista, se busca conocer los conceptos centrales sobre los cuales los docentes evaluados construyen su secuencia de enseñanza del enlace químico y el conocimiento disciplinar alrededor de ellos. Durante la entrevista se tomó nota no sólo de los conceptos centrales sino

también de las estrategias y actividades que los profesores dicen incluir en sus clases. Por lo tanto, durante la observación se evaluó positivamente dicha característica según el número de coincidencias entre lo expuesto en la entrevista y lo visto en clase. Situación que en el caso de Aureliano, ocurrió con menor frecuencia y que el mismo docente, anticipó desde el momento de la entrevista. Caso contrario el del profesor Laudelino, que en consecuencia salió mejor evaluado.

B. La sesión promueve un entendimiento conceptual fuerte y coherente.

Como mencionan los autores del RTOP: los conceptos *no se sostienen por sí solos*; es decir, que en este ítem se busca evaluar el número de interrelaciones o conexiones que el profesor hizo durante las sesiones, entre los conceptos centrales u otras disciplinas. Es estrecha la relación entre este ítem y el primero (de esta sección), por lo tanto, la evaluación que se hizo de este aspecto fue siguiendo las pautas expuestas anteriormente; en consecuencia, el profesor Laudelino resultó mejor evaluado que Aureliano.

C. El profesor tiene un sólido entendimiento del contenido disciplinar inherente a la sesión.

La frase “un sólido entendimiento del contenido disciplinar” también se puede interpretar como el conocimiento que posee el profesor acerca del entendimiento científico de los estudiantes y de las limitaciones y dificultades asociadas a la enseñanza-aprendizaje de un tema en particular (componente **C** del CPC, subcomponentes **C1** (conocimientos previos, habilidades), **C2** (concepciones) y **C3** (creencias)). El protocolo de observación sugiere además, que se evalué el afán del profesor por lograr que sus estudiantes piensen en el fenómeno en cuestión, aunque sus ideas estén vagamente relacionadas o articuladas.

De la observación de las clases de cada uno de los profesores, es posible afirmar que, conocen no sólo las cuestiones disciplinarias sino también las dificultades, concepciones alternativas y el conocimiento previo que los estudiantes tienen para aprender el tema del enlace químico.

D. Los elementos abstractos (por ejemplo: las representaciones simbólicas) son fomentadas cuando es importante hacerlo.

Este ítem guarda relación directa con el componente **E** del CPC (específicamente el subcomponente **E2**); el cual está asociado con las representaciones específicas que el profesor emplea para el tema. Por lo cual, se evaluó que las representaciones empleadas coincidieran con las expuestas en la entrevista y la ayuda prestada por el profesor para la interpretación de las mismas.

Fueron pocas las representaciones simbólicas empleadas por el profesor Aureliano, la mayoría de ellas fueron analogías antropomórficas. Después de la presentación de cada una de ellas, dedicó tiempo a la interpretación de las mismas, por lo tanto, en este ítem fue evaluado positivamente. Por su parte, Laudelino emplea una diversidad mayor de representaciones simbólicas y en menor medida, dedica tiempo para ayudarles a sus alumnos en su elaboración e interpretación.

E. Las conexiones con otros contenidos y/o con el mundo real son explorados y valorados.

En el programa de estudios vigente del CCH para cada tema, se sugieren una serie de actividades relacionadas con problemáticas y/o temas cotidianos. En consecuencia la evaluación de este ítem en este contexto en particular, guarda relación con el componente **B** del CPC (conocimiento del curriculum). Así mismo, este ítem está relacionado con el entendimiento que un profesor tiene alrededor del concepto o fenómeno, lo cual, le permite establecer un gran número de conexiones entre el mundo real u otros contenidos; lo que sin duda, favorece el diseño e implementación de estrategias, analogías, ejemplos, demostraciones o ejercicios, que les facilite el aprendizaje de sus alumnos.

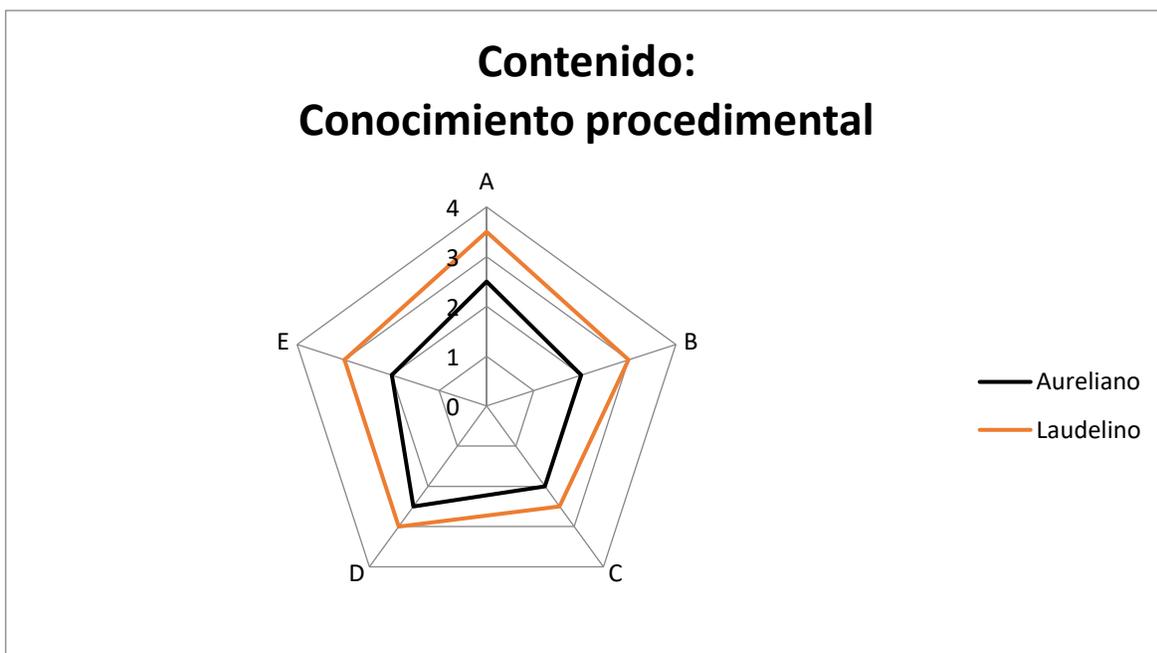
Laudelino dedica buena parte de su secuencia a la búsqueda constante ejemplos, analogías, demostraciones, animaciones, actividades y/o ejercicios, donde sus alumnos puedan relacionar, cada uno de los conceptos centrales con otros, como los isótopos o la radiactividad, o con la vida diaria. Situación que en menor medida fue observada durante la secuencia del profesor Aureliano.

5.4.2. Conocimiento procedimental

A. *Los estudiantes emplean una gran variedad de significados (modelos, dibujos, gráficas, modelos materiales, etc.) para la representación del fenómeno.*

Mientras más procesos, estrategias o representaciones incluya el profesor, más oportunidades tienen los alumnos de aprender según sus diferentes estilos de aprendizaje. Este ítem, guarda relación con los componentes y subcomponentes **E** (estrategias y representaciones) del CPC, pero principalmente con el componente **A** (orientaciones); ya que las estrategias que un docente emplea concuerdan con su estilo de enseñanza, su entendimiento disciplinar y el conocimiento acerca de los alumnos.

Los autores del RTOP consideran que se puede tomar como “gran variedad” a por lo menos dos procesos, estrategias o representaciones y de tal manera fueron evaluados los profesores. Debido a la cantidad de representaciones empleadas Laudelino obtuvo una puntuación mayor que Aureliano. Sin embargo, en esta cuestión el tiempo que dedicó Aureliano a la secuencia puede ser el factor que sesga los resultados obtenidos.



Gráfica 10. Resultados obtenidos por cada profesor durante la observación de clases, correspondiente a la sección IV del RTOP.

B. Los estudiantes hacen predicciones, estimaciones y/o hipótesis e idean formas de evaluarlos.

En este caso los autores del RTOP sugieren no distinguir entre predicciones, hipótesis o estimaciones, por el contrario, el objetivo a evaluar son las oportunidades o los momentos en los que explícitamente los estudiantes piensan en el fenómeno a estudiar antes de recolectar los datos, hacer demostraciones o actividades experimentales. Por otra parte, el subcomponente **A1** (proceso) está relacionado con aquellas actividades en las que el profesor introduce a los estudiantes en el proceso de pensamiento empujado por los científicos. Situación que es valorada en este ítem. En menor medida puede ser relacionado a su vez con el subcomponente **A4** (cambio conceptual); en el cual los estudiantes son alentados a ver o considerar soluciones alternativas.

Ambos profesores, antes de iniciar una actividad experimental les daban tiempo a sus alumnos para que realicen una predicción de los datos que podrían obtener. Adicionalmente, Laudelino trabaja con una muestra desconocida; aspectos que pueden ser asociados con los subcomponentes mencionados anteriormente y permiten una evaluación positiva de los docentes en el ítem.

C. Los estudiantes son activamente enganchados a una reflexión que involucra la evaluación crítica de los procesos.

Una de las características del trabajo en el aula, que fue evaluado en varios ítems del protocolo empleado, es la participación activa de los estudiantes; la cual, como fue mencionado con anterioridad, se interpreta como algún tipo de actividad que promueve o facilita el aprendizaje colaborativo. Considero que solamente si los alumnos se sienten parte de una comunidad de aprendizaje (ítem **B** del apartado *Diseño e implementación de la lección* y **A** del apartado *Relaciones profesor-alumno*) entonces pueden presentarse las condiciones adecuadas para que reflexionen.

Si bien es cierto, que los profesores observados buscan promover una participación activa en sus aulas, también es cierto, que debido a que las estrategias de evaluación que afirman emplear, es difícil que los estudiantes puedan reflexionar

sobre los procesos, actividades o eventos ocurridos durante la clase. Razón por la cual, no se les otorgó un puntaje mayor dicho aspecto.

D. Los estudiantes reflexionan sobre su aprendizaje.

La autoevaluación y la metacognición son dos aspectos de una visión de la enseñanza en la que la evaluación sirve de herramienta para el aprendizaje, antes que ser el instrumento que permite verificar la correcta transmisión de la información. Dentro de una postura constructivista si el alumno es consciente de las ideas entorno al fenómeno y las evalúa a lo largo de la secuencia de enseñanza aumentan las posibilidades de que las modifique (Campanario, J.M y Moya, A, 1999). En ambos, casos durante las sesiones observadas fue difícil observar que los estudiantes contaran con momentos para la reflexión. Sin embargo, durante la entrevista ambos profesores dicen que los resultados obtenidos en las diferentes actividades de inicio son retomados en el cierre de la secuencia; condición que en esta ocasión no pudo ser observada, pero que al parecer forma parte de su estilo de enseñanza.

E. El rigor intelectual, el constructivismo crítico y las ideas desafiantes son evaluadas.

Otro aspecto que fue evaluado en varias secciones del protocolo es el fomento y la introducción de los alumnos dentro del pensamiento científico y los procesos empleados en la construcción del conocimiento científico (ítem **B**, del apartado *Diseño e implementación de la lección* o ítem **D**, del apartado *Interacciones comunicativas*). En esta ocasión, se evaluó no sólo la comunicación de las ideas, sino el debate, la negociación y la argumentación y la evaluación de la evidencia, características que según los autores forman parte importante en la construcción del conocimiento.

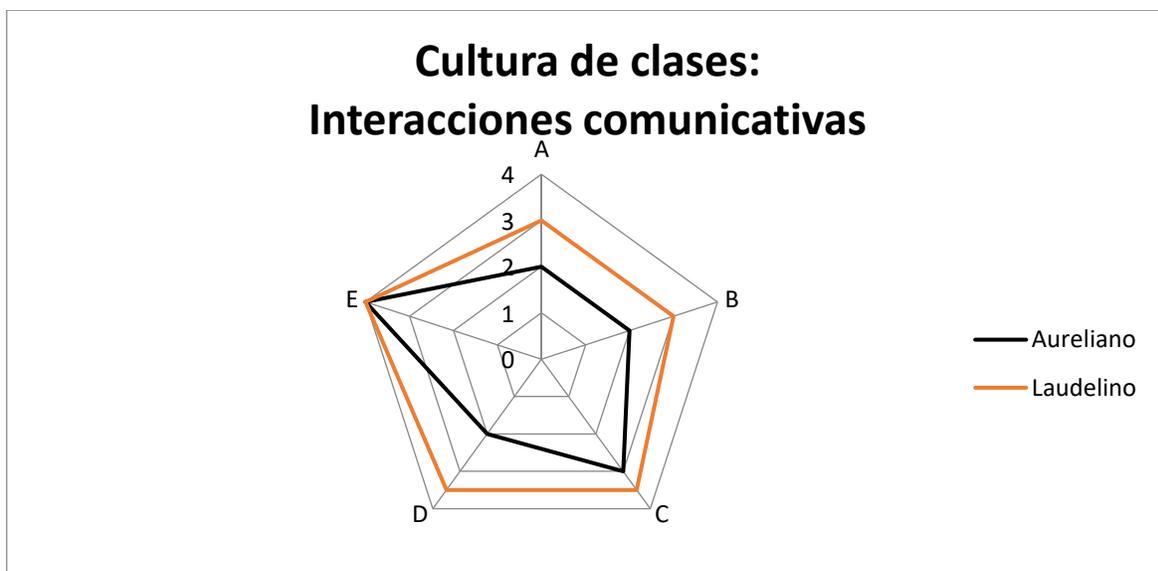
Se observó que el profesor Laudelino en varias ocasiones ayudó a sus estudiantes a argumentar correctamente sus ideas, a la evaluación de sus resultados y la articulación de ambas cuestiones, lo que resulta consistente con su visión de que a través de sus clases puede transmitir la idea de *cómo la ciencia*

opera y explica cosas (subcomponente **A1**). El profesor Aureliano trabaja estas cuestiones de manera más ligera y en menor tiempo, debido a lo cual, obtuvo una puntuación menor en este ítem.

5.5. Cultura de clases

En esta sección se retoman desde otro ángulo algunas de las características que fueron evaluadas anteriormente. Se trata de la última sección del RTOP; la cual cuenta con dos subsecciones. La primera de ellas se titula: interacciones comunicativas, en ella se evalúa la naturaleza de las comunicaciones y su influencia sobre la dinámica de construcción del conocimiento. En la segunda subsección las relaciones entre el profesor y los alumnos y entre los alumnos.

5.5.1 Interacciones comunicativas



Gráfica 11. Resultados obtenidos por cada profesor durante la observación de clases, correspondiente a la sección IV del RTOP.

A. Los estudiantes están involucrados en la comunicación de sus ideas con otros, usando una variedad de significados y medios.

Algunos de las formas que sugiere el protocolo que los estudiantes pueden usar para la comunicación de sus ideas son: la lluvia de ideas, las presentaciones, la proyección crítica de videos o animaciones y el trabajo en equipo, cualquier actividad que enriquezca la discusión y facilite la comprensión del tema. En este aspecto, los profesores emplean un gran número de las formas para la presentación del enlace químico, por ejemplo: animaciones, presentaciones, experimentos, ejercicios mentales, analogías o maquetas (ítem **D**, **Sección IV**, conocimiento proposicional); pero sus estudiantes no emplean dichos medios para la comunicación, sino para la representación del tema; debido a lo cual, obtuvieron una baja puntuación.

B. Las preguntas del profesor desencadenan modos divergentes de pensamiento.

En este ítem nuevamente se evalúa la misma cuestión evaluada en el ítem **D** de la sección **III** diseño e implementación de la lección. Si las preguntas hechas por el profesor tienen más de una interpretación, no son cerradas ni de respuesta rápida; si además buscan que el alumno desarrolle un pensamiento profundo alrededor del fenómeno en cuestión; entonces se le asignó una puntuación alta al docente en observación. Condición que el profesor Laudelino busca cultivar, por ejemplo, a través del empleo de los llamados “ejercicios mentales”. Situación que en el caso de Aureliano se vio escasamente reflejado.

C. Hubo una alta proporción de la charla con los estudiantes y una cantidad significativa de esta se produjo entre los estudiantes.

En un modelo de enseñanza tradicional el profesor es ante todo un orador al que los estudiantes guardan silencio y escuchan atentamente. Por el contrario, en un modelo de enseñanza *reformado*, como lo denominan los autores del **RTOP**; es probable que, durante una sesión ambas partes se expresen e interactúen oralmente en la construcción del conocimiento. En ambos casos se observó que los profesores crean un clima de trabajo donde los estudiantes pueden interactuar con ellos con toda libertad, además cuentan con espacios para hablar entre ellos,

discutir sus resultados, apoyarse en la resolución de ejercicios o en la redacción del informe experimental.

D. Las preguntas y los comentarios de los estudiantes a menudo determinan la atención y la dirección del discurso de la clase.

En el ítem **E** de la primera sección del protocolo se evaluó esta misma característica desde el diseño de la lección; ahora se evalúa desde la comunicación entre los estudiantes y el profesor. Por lo tanto, los resultados no varían significativamente entre sí.

E. Hubo un clima de respeto a las ideas de los demás.

Un clima de respeto a las ideas de los demás es de vital importancia para la comunicación y discusión de las ideas de cada uno de los estudiantes. Esto significa que tanto los estudiantes como el profesor escuchan atentamente las ideas de los otros, porque se toman el tiempo suficiente para considerarlas. Así mismo, cada uno de los estudiantes se expresa sin temor a la censura. Condición que se observó en cada una de las aulas de los profesores participantes.

5.5.2 Relaciones profesor-alumno

A. La participación activa de los estudiantes fue fomentada y valorada.

Como se mencionó con anterioridad la participación activa es parte fundamental de una comunidad de aprendizaje, característica que también fue evaluada en la sección **Diseño e implementación de la lección**, ítem **B**. En este caso, también se interpretó como participación activa a toda aquella actividad en la que los alumnos replicaban o emulaban realizar los procesos propios del quehacer científico; es decir, a través de esta actividad se podía apreciar que los alumnos no sólo aprendían contenidos, sino que desarrollaban habilidades o métodos científicos. Por lo tanto, los resultados obtenidos fueron similares a los presentados. El profesor Laudelino, durante la realización de algunas actividades experimentales, busca que

sus alumnos: formulen hipótesis, evalúen evidencia y argumenten sus respuestas; situación que Aureliano escasamente promovió en la secuencia de este tema en particular.

B. Los estudiantes son alentados a generar conjeturas, estrategias de solución alternativas y de interpretar la evidencia.

El manejo que el profesor hace de las características evaluadas en este ítem se relaciona a su vez con el ítem anterior. Sin embargo, en esta ocasión se busca evaluar la forma en la que son promovidas o fomentadas estas características del quehacer científico. Considero que ambos profesores buscan alentar a sus estudiantes no sólo en la realización de estas cuestiones, sino también en alentar y fortalecer su vocación científica.

C. En general el profesor es paciente con sus estudiantes.

Como indican los autores del RTOP, ser paciente no es lo mismo que tolerar cualquier conducta. Por el contrario, se evaluó si el profesor maneja adecuadamente los tiempos de espera en la resolución de problemas, el número de oportunidades otorgadas para este fin, la forma en la que reacciona a una duda reiterada o a los comentarios de los estudiantes; todo esto sin descuidar el orden del aula. En estas cuestiones, la conducta de ambos profesores hacia sus alumnos puede ser descrita de acuerdo a lo mencionado anteriormente. En consecuencia, ambos profesores obtuvieron una puntuación alta en este ítem.

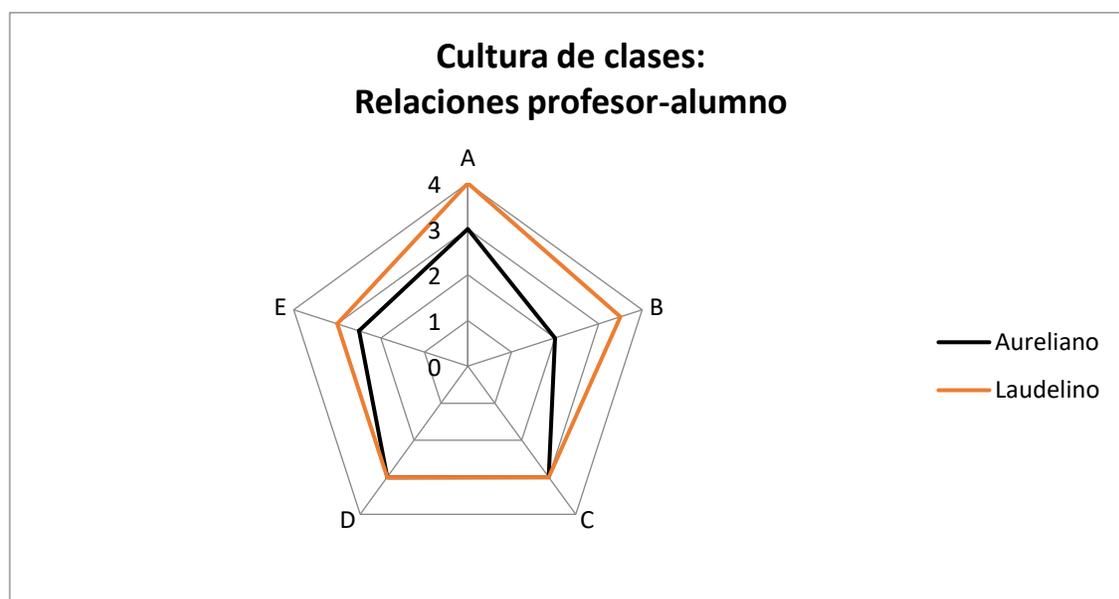
D. El profesor actúa como un recurso personal, para trabajar en el soporte y la mejora de las investigaciones estudiantiles.

Dentro de un modelo de enseñanza centrado en el alumno, las actividades o trabajos que se realizan requieren de la participación activa de los alumnos y no de la aplicación de un algoritmo único de resolución de problemas. Por lo tanto, el papel del profesor es acompañar a los alumnos durante la realización de estos trabajos y apoyarlos en el desarrollo de un método o soluciones que les permitan dar respuesta a las interrogantes planteadas. De esta manera, el docente actúa como

un “recurso personal” que los guía y retroalimenta pero que no les dice lo que deben hacer o no a los alumnos, ni son supervisados paso a paso. Aspecto que pudo ser observado con frecuencia en los docentes evaluados.

E. La metáfora “el profesor es una escucha” fue una de las características de este salón.

Este ítem recoge varias de las características evaluadas anteriormente en esta sección. Por lo que se pueden evaluar las interacciones comunicativas entre el profesor y los alumnos observados, como abiertas y espontáneas; los alumnos expresan sus dudas sobre el tema o sobre cualquier asunto con libertad, lo que sin duda es de gran utilidad en cualquier secuencia, pero también es un indicador de que sus interrogantes son tratadas con respeto.



Gráfica 12. Resultados obtenidos por cada profesor durante la observación de clases, correspondiente a la sección IV del RTOP.

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES

6. Conclusiones

1. Se logró documentar el conocimiento pedagógico del contenido (CPC), sus componentes y subcomponentes, así como las relaciones que existen entre ellos: la instrucción, la evaluación, el currículo y el aprendizaje de los estudiantes; para los dos profesores participantes en el presente trabajo. A partir de su discusión y análisis, se concluye que con excepción de la evaluación ambos profesores en lo general practican un modelo de enseñanza con características que pueden ser asociadas a una visión constructivista de la enseñanza.
2. Para el tema del enlace químico y en el contexto específico en el que se realizó el presente trabajo, se observó que la evaluación empleada por los profesores no incluye a la coevaluación o a la autoevaluación, por lo que aparentemente los alumnos cuentan con pocas oportunidades para reflexionar sobre su aprendizaje. Sin embargo, ambos profesores buscan abrir espacios para la retroalimentación en la mayoría de sus sesiones; por lo que es altamente probable que en estos momentos ayuden a esta reflexión ocurra.
3. A partir del análisis de las propuestas de enseñanza de los profesores participantes y de la revisión documental de los libros de texto revisados en el presente trabajo, se observó que:
 - a. Los aspectos históricos o relacionados con habilidades de pensamiento científico (como los modelos) son escasamente tratados y algunos casos presentan deficiencias durante su exposición. Por lo tanto, es necesario incluir y reforzar estos aspectos en los cursos de formación o actualización docente para evitar distorsiones durante el proceso de enseñanza-aprendizaje.

- b. Incluyen o hacen referencia a la medición de las propiedades de compuestos prototípicos (temperatura de fusión, solubilidad en agua, conductividad eléctrica en sólido y en disolución), como la actividad fundamental para el aprendizaje del enlace químico.

- c. El uso y, en ocasiones, abuso de las analogías antropomórficas en la enseñanza del enlace químico son una de las principales fuentes de concepciones alternativas; debido principalmente a que no se discuten sus implicaciones, diferencias y similitudes entre el análogo y el objetivo de estudio.

7. Perspectivas a futuro

En el presente trabajo se observó que las emociones juegan un papel determinante en el desarrollo del CPC y la práctica docente; sin embargo, no fue posible explorar su influencia e implicaciones. Por lo tanto, se considera el diseño y la puesta en práctica de estudios posteriores que ayuden a dilucidar esta cuestión. Así mismo, la implementación de la metodología empleada en otros tópicos de igual importancia para la enseñanza de la química.

La propuesta, elaboración y evaluación de una propuesta de enseñanza que incluya las recomendaciones realizadas a partir del análisis de los resultados obtenidos, así como de un curso o taller de actualización o formación docente; forman parte de futuros proyectos, con los que se pretende contribuir a la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje.

A partir del empleo de las herramientas seleccionadas para la documentación del CPC, así como de los resultados obtenidos podrían plantearse mejoras en su diseño que ayudarían a facilitar la recolección e interpretación de resultados que podrían ayudar al desarrollo de la investigación educativa en este ámbito.

Anexo I Adaptación del Protocolo de Observación de Enseñanza -RTOP

I. Información previa

¿Fue anunciada la observación?:

Localización de la clase:

Fecha:

Hora de inicio:

Hora final:

II. Contexto del salón y las actividades

Breve descripción de la lección observada, el salón y lo relativo a este espacio (disposición de los asientos, luz, etc.) y de todo lo relevante a los estudiantes (número, género) y el profesor.

Anota aquí los eventos que pueden ayudarte en la documentación y valoración de la sesión.

Tiempo	Descripción de los eventos.

III. Diseño e implementación de la lección.

	Nunca				Siempre
A. Las estrategias y las actividades respetan el conocimiento previo de los estudiantes y las preconcepciones inherentes en ellos.	0	1	2	3	4
B. La sesión fue diseñada para que los estudiantes se sientan como miembros de una comunidad de aprendizaje.	0	1	2	3	4
C. En esta sesión, los estudiantes exploran antes de la presentación formal.	0	1	2	3	4
D. En esta sesión, los estudiantes fueron alentados para ver y evaluar modos alternativos de investigación o de resolución de problemas.	0	1	2	3	4
E. El foco y dirección de la sesión a menudo fue determinada por ideas originadas con los estudiantes.	0	1	2	3	4

IV. Contenido

<i>Conocimiento proposicional</i>	Nunca				Siempre
A. La sesión involucra conceptos fundamentales del enlace químico.	0	1	2	3	4
B. La sesión promueve un entendimiento conceptual fuerte y coherente.	0	1	2	3	4
C. El profesor tiene un sólido entendimiento del contenido disciplinar inherente a la sesión.	0	1	2	3	4
D. Los elementos abstractos (por ejemplo: las representaciones simbólicas) son fomentadas cuando es importante hacerlo.	0	1	2	3	4
E. Las conexiones con otros contenidos y/o con el mundo real son explorados y valorados.	0	1	2	3	4

<i>Conocimiento procedimental</i>	Nunca				Siempre
A. Los estudiantes emplean una gran variedad de significados (modelos, dibujos, graficas, modelos materiales, etc.) para la representación del fenómeno.	0	1	2	3	4
B. Los estudiantes hacen predicciones, estimaciones y/o hipótesis e idean formas de evaluarlos.	0	1	2	3	4
C. Los estudiantes son activamente alentados a la reflexión.	0	1	2	3	4
D. En esta sesión, los estudiantes fueron alentados para ver y evaluar modos alternativos de investigación o de resolución de problemas.	0	1	2	3	4
E. El foco y dirección de la sesión a menudo fue determinada por ideas originadas con los estudiantes.	0	1	2	3	4

V. Cultura de clases

	<i>Interacciones comunicativas</i>				Nunca				Siempre
A.	Los estudiantes están involucrados en la comunicación de sus ideas con otros, usando una variedad de significados y medios.	0	1	2	3	4			
B.	Las preguntas del profesor desencadenan modos divergentes de pensamiento.	0	1	2	3	4			
C.	Hubo una alta proporción de la charla con los estudiantes y una cantidad significativa de esta se produjo entre los estudiantes.	0	1	2	3	4			
D.	Las preguntas y los comentarios de los estudiantes a menudo determinan la atención y la dirección del discurso de la clase.	0	1	2	3	4			
E.	Hubo un clima de respeto a las ideas de los demás.	0	1	2	3	4			

	<i>Relaciones profesor/estudiante</i>				Nunca				Siempre
A.	La participación activa de los estudiantes fue fomentada y valorada.	0	1	2	3	4			
B.	Los estudiantes son alentados a generar conjeturas, estrategias de solución alternativas y de interpretar la evidencia.	0	1	2	3	4			
C.	En general el profesor es paciente con sus estudiantes.	0	1	2	3	4			
D.	El profesor actúa como un recurso personal, para trabajar en el soporte y la mejora de las investigaciones estudiantiles.	0	1	2	3	4			
E.	La metáfora “el profesor es una escucha” fue una de las características de este salón.	0	1	2	3	4			

Anexo II. Formato de evaluación de los libros de texto seleccionados

I. T. L. Brown, H. Eugene LeMay, Jr., Bruce E. Bursten, Catherine J. Murphy., <i>Química. La ciencia central</i> , Decimoprimer edición, Pearson Educación, México, 2009.		
Aspecto	Resultado	Cita Textual o Comentario
1. ¿En la introducción del texto y/o del tema se habla de los modelos y de su uso en ciencias?	No	
2. ¿De forma general se relacionan las propiedades de los compuestos con su tipo de enlace?	Si	<p><i>[Si a lo largo de todo el capítulo 8.]</i> Las propiedades de las sustancias se determinan en gran medida por los <i>enlaces químicos</i> que mantienen unidos a sus átomos. Pág. 298</p> <p>Cuando el enlace covalente predomina, es común esperar que los compuestos existan como moléculas*, con todas las propiedades que asociamos con las sustancias moleculares, como sus puntos de fusión y de ebullición relativamente bajos, y su comportamiento no electrolítico cuando se disuelven en agua. [...] Por otra parte, cuando el enlace iónico predomina, esperamos que los compuestos posean propiedades muy distintas. Los compuestos iónicos tienden a ser sólidos quebradizos con puntos de fusión elevados, con estructuras de red extendidas, y muestran un comportamiento electrolítico cuando se disuelven en agua.</p> <p><i>* Hay algunas excepciones evidentes a esta regla, como los sólidos en red, incluyendo el diamante, el silicio y el germanio, en donde se forma una estructura extendida, aún cuando su enlace sea claramente covalente. Pág. 313</i></p>
3. ¿Existen referencias a algún aspecto histórico?	No	
4. ¿Se da una definición general del enlace químico?	Si	Siempre que dos átomos o iones están unidos fuertemente entre sí, decimos que hay un enlace químico entre ellos. Pág. 298
5. ¿Se habla del carácter iónico, covalente o metálico de los compuestos?	Si	<i>[Este carácter se presenta bajo el título de "Cómo distinguir los enlaces iónicos de los covalentes" y se desarrolla a lo largo de las págs. 312-313. Se hace énfasis en que los enlaces iónicos o covalentes son modelos extremos y que la mayoría de los casos caen en un punto intermedio, por último se menciona a la electronegatividad como un intento por caracterizar a los enlaces.]</i>

6. ¿Cómo una introducción al modelo de enlace iónico se hace énfasis en la formación de los iones?	Si	La formación de Na^+ a partir del Na , y de Cl^- a partir de Cl_2 indica que un átomo de sodio perdió un electrón y que lo ganó un átomo de cloro; podemos visualizar esto como una <i>transferencia de electrones</i> del átomo de sodio al átomo de cloro. Pág. 299
7. ¿Se mencionan las limitantes que tiene la regla del octeto?	Si	La regla del octeto no se cumple en muchas situaciones que involucran enlaces covalentes. Estas excepciones a la regla del octeto son de tres tipos principales: <ol style="list-style-type: none"> 1. Moléculas y iones poliatómicos que contienen un número impar de electrones. 2. Moléculas y iones poliatómicos en los que un átomo tiene menos de un octeto de electrones de valencia. 3. Moléculas y iones poliatómicos En los que un átomo tiene más de un octeto de electrones de valencia. Pág. 322
8. ¿El texto plantea las limitantes de los modelos de enlace o la existencia de enlaces intermedios?	Si	Para comprender las interacciones responsables del enlace químico, es conveniente tratar por separado a los enlaces iónicos y a los covalentes. [...] Sin embargo, en realidad hay un continuo entre los extremos de los enlaces iónicos y los covalentes. Pág. 312-313
9. ¿Explican las propiedades de los metales a través del modelo del mar de electrones?	Si	Un modelo sencillo que explica algunas de las características más importantes de los metales es el modelo de mar de electrones . La alta conductividad térmica de los metales se explica también mediante la movilidad de los electrones, lo que permite la fácil transferencia de energía cinética a través del sólido. La capacidad de los metales para deformarse (su maleabilidad y ductilidad) se puede explicar por el hecho de que los átomos metálicos forman enlaces con muchos vecinos. Los cambios en la posición de los átomos que resultan por el cambio de forma del metal se acomodan de manera parcial mediante la redistribución de electrones. Pág. 992
10. ¿Introduce alguno de los conceptos siguientes para explicar o describir los aspectos del enlace? a) polaridad b) electronegatividad	a) Si	a) El concepto de polaridad de enlace es útil para describir la forma en que se comparten electrones entre los átomos. [...] En un enlace covalente polar , uno de los átomos ejerce una atracción mayor sobre los electrones de enlace, que el otro. Si la diferencia en la capacidad relativa de atraer electrones es

	b) Si	<p>suficientemente grande, se forma un enlace iónico. Págs. 307-308</p> <p>b) Un método más sofisticado, como el que describimos en la explicación anterior [ver pregunta 3], es utilizar la diferencia de electronegatividad como el criterio principal para determinar si el enlace iónico o el covalente será el que predomine. Pág. 313</p>
--	-------	---

II. R. Chang, <i>Fundamentos de química</i> , Adaptado de la décima edición de <i>Química</i> de Raymond Chang, McGraw-Hill, México, 2011.		
Aspecto	Resultado	Cita Textual o Comentario
1. ¿En la introducción del texto y/o del tema se habla de los modelos y de su uso en ciencias?	No	
2 ¿De forma general se relacionan las propiedades de los compuestos con su tipo de enlace?	Si	<p>[Existe un apartado titulado "Comparación de las propiedades de los compuestos covalentes y los compuestos iónicos".]</p> <p>Los compuestos iónicos y covalentes exhiben marcadas diferencias en sus propiedades físicas generales debido a que sus enlaces son de distinta naturaleza. Pág. 228-229</p>
3 ¿Existen referencias a algún aspecto histórico?	No	
4. ¿Se da una definición general del enlace químico?	No	
5. ¿Se habla del carácter iónico, covalente o metálico de los compuestos?	Si	<p>[No, únicamente se emplea a la electronegatividad como un criterio para hablar del carácter iónico porcentual.]</p> <p>Aunque no hay una distinción tajante entre un enlace polar y un enlace iónico, la siguiente regla ayuda a distinguirlos. El enlace iónico se forma cuando la diferencia de electronegatividad entre dos átomos enlazados es de 2.0 o más. Esta regla se aplica para la mayoría pero no para todos los compuestos iónicos. A veces, los químicos emplean el término de <i>carácter iónico porcentual</i> para describir la naturaleza de un enlace. Un enlace iónico puro tendría un carácter iónico de 100 %, aunque no se conoce dicho enlace, en tanto que un enlace covalente puro o no polar tiene 0% de carácter iónico. Pág. 231</p>
6. ¿Cómo una introducción al modelo de enlace iónico se hace énfasis en la formación de los iones?	Si	
7. ¿Se mencionan las limitantes que tiene la regla del octeto?	Si	Como se mencionó antes, la regla del octeto se aplica principalmente a los

		elementos del segundo período. Las excepciones a la regla del octeto caen en tres categorías que se distinguen por un octeto incompleto, un número impar de electrones o más de ocho electrones de valencia alrededor del átomo central. Pág. 241-246
8. ¿El texto plantea las limitantes de los modelos de enlace o la existencia de enlaces intermedios?	No	
9. ¿Explican las propiedades de los metales a través del modelo del mar de electrones?	No	
10. ¿Introduce alguno de los conceptos siguientes para explicar o describir los aspectos del enlace? a) polaridad b) electronegatividad	a) No b) No	

III. R. Chang, <i>Química</i> , Sexta edición, McGraw-Hill, México, 1999.		
Aspecto	Resultado	Cita Textual o Comentario
1. ¿En la introducción del texto y/o del tema se habla de los modelos y de su uso en ciencias?	No	
2 ¿De forma general se relacionan las propiedades de los compuestos con su tipo de enlace?	Si	<i>[Existe un apartado titulado "Comparación de las propiedades de los compuestos covalentes y los compuestos iónicos".]</i> Los compuestos iónicos y covalentes exhiben marcadas diferencias en sus propiedades físicas generales debido a la distinta naturaleza de sus enlaces Pág. 339-340
3 ¿Existen referencias a algún aspecto histórico?	No	
4. ¿Se da una definición general del enlace químico?	No	
5. ¿Se habla del carácter iónico, covalente o metálico de los compuestos?	Si	<i>[No, únicamente se emplea a la electronegatividad como un criterio para hablar del carácter iónico porcentual.]</i> Aunque no hay una distinción tajante entre un enlace polar y un enlace iónico, la siguiente regla ayuda a distinguirlos. Un enlace iónico se forma cuando la diferencia de electronegatividad entre dos átomos enlazados es de 2.0 o más. Esta regla se aplica para la mayoría pero no para todos los compuestos iónicos. Algunas veces, los químicos emplean el término de <i>carácter iónico porcentual</i> para describir la naturaleza de un enlace. Un enlace iónico puro tendría un carácter iónico de 100 %, aunque no se conoce dicho enlace, en tanto que un enlace

		covalente puro o no polar tiene 0% de carácter iónico. Pág. 342
6. ¿Cómo una introducción al modelo de enlace iónico se hace énfasis en la formación de los iones?	Si	
7. ¿Se mencionan las limitantes que tiene la regla del octeto?	Si	Como se mencionó antes, la regla del octeto se aplica principalmente a los elementos del segundo período. Las excepciones a la regla del octeto caen en tres categorías que se caracterizan por un octeto incompleto, un número impar de electrones o más de ocho electrones de valencia alrededor del átomo central. Pág. 350-354
8. ¿El texto plantea las limitantes de los modelos de enlace o la existencia de enlaces intermedios?	No	
9. ¿Explican las propiedades de los metales a través del modelo del mar de electrones?	No	
10. ¿Introduce alguno de los conceptos siguientes para explicar o describir los aspectos del enlace? a) polaridad b) electronegatividad	a) No b) Si	b) Una propiedad que ayuda a distinguir el enlace covalente no polar del enlace covalente polar es la electronegatividad , es decir, la capacidad de un átomo para atraer hacia sí los electrones de un enlace químico. Pág. 340

IV. M. P. García Pavón, L. González Carrillo, S. G. Martínez Galindo, C. Rivera Blanco y M. de L. Valenzuela Ramos, <i>Guía para el profesor de Química II en el CCH</i> , Primera edición: 2007, Departamento de Actividades Editoriales de la Secretaria de Servicios de Apoyo al Aprendizaje, México, 2007.		
Aspecto	Resultado	Cita Textual o Comentario
1. ¿En la introducción del texto y/o del tema se habla de los modelos y de su uso en ciencias?	No	[Sólo se usa la palabra sin dar una explicación o un porqué de esto]
2. ¿De forma general se relacionan las propiedades de los compuestos con su tipo de enlace?	Si	[Únicamente se menciona para el caso del enlace iónico]. Los compuestos [iónicos] que se obtienen son sólidos, forman cristales, poseen altos puntos de fusión y ebullición, son solubles en solventes polares y en solución acuosa, fundidos conducen la corriente eléctrica. Pág. 55
3. ¿Existen referencias a algún aspecto histórico?	No	
4. ¿Se da una definición general del enlace químico?	Si	Cuando los átomos se combinan entre sí por medio de un <i>enlace químico</i> , cambia la distribución de electrones de ambos átomos y dependerá de la estructura electrónica de los átomos el carácter del enlace que se forme. Pág. 54

		electronegatividad como <i>la medida de la capacidad de un átomo para atraer los electrones en un enlace</i> . Pág. 180
--	--	---

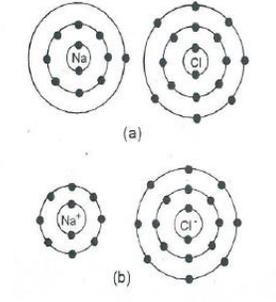
V. A. Garritz y J. A. Chamizo, *Química*, Primera edición. Addison-Wesley Iberoamericana, S.A., México, 1994.

Aspecto	Resultado	Cita Textual o Comentario
1. ¿En la introducción del texto y/o del tema se habla de los modelos y de su uso en ciencias?	Si	Los modelos científicos simulan un aspecto de la realidad; son creaciones del hombre que le ayudan a interrogar y comprender mejor. Pág. 11
2 ¿De forma general se relacionan las propiedades de los compuestos con su tipo de enlace?	Si	[Si a lo largo de todo el capítulo 6.]
3 ¿Existen referencias a algún aspecto histórico?	No	
4. ¿Se da una definición general del enlace químico?	Si	Dos o más átomos se unen al ceder, recibir o compartir sus electrones de valencia, y así forman enlaces químicos. Pág. 37
5. ¿Se habla del carácter iónico, covalente o metálico de los compuestos?	Si	Cuando se combinan dos elementos, la evaluación de la diferencia de sus electronegatividades permite determinar el tipo de enlace que se presenta entre ellos, de acuerdo con la tabla 6.2. Págs. 439-440

Tabla 6.2 Tipo de enlace químico, de acuerdo con la diferencia de electronegatividades.

Enlace	Diferencia de electronegatividad entre los elementos	Propiedades y ejemplos
Iónico	mayor que 1.9	Formado generalmente por un metal y un no metal. Los compuestos iónicos muestran altos puntos de ebullición y fusión; son duros, quebradizos, y malos conductores de la electricidad y el calor. Se presentan en estructuras ordenadas. Cuando se funden o se disuelven en disolventes polares son buenos conductores de la electricidad. Ejemplos: LiF, NaCl, Cs, O.
Covalente	menor que 1.9	Formado generalmente entre elementos no metálicos. Los compuestos covalentes muestran una gran variedad de puntos de ebullición y fusión; son aislantes eléctricos y térmicos. Están formados por moléculas con geometrías definidas. Ejemplos: CH ₄ , NH ₃ , C ₆ H ₆ , F ₂ .
Metálico	menor que 1.9	Formado por elementos metálicos. Los metales generalmente son sólidos con puntos de ebullición y fusión altos. Son densos, brillantes, maleables y excelentes conductores del calor y la electricidad, ya que sus electrones no están localizados. Ejemplos: Fe, Na, aleaciones (bronce), Au.

(NOTA: Se ha escogido el valor de 1.9 como "frontera" entre los tipos de enlace).

<p>6. ¿Cómo una introducción al modelo de enlace iónico se hace énfasis en la formación de los iones?</p>	<p>Si</p>	 <p style="text-align: center;">Ilustración 6.4</p> <p>Enlace iónico. El diagrama muestra el modelo de Bohr para el sodio (un solo electrón de valencia) y el cloro (siete electrones de valencia). (a) Átomos aislados. (b) Una vez que el sodio transfiere un electrón al cloro, ambas especies muestran un octeto en el último nivel electrónico.</p> <p>Pág. 441</p>
<p>7. ¿Se mencionan las limitantes que tiene la regla del octeto?</p>	<p>Si</p>	<p>Recordarás que en la sección 5.3.6 se insistió en que la estabilidad de los gases nobles se debe a que presentan ocho electrones en el nivel más externo (excepto en el helio, donde solo hay dos, por ser ese el máximo posible en el nivel $n=1$). Pág. 441</p>
<p>8. ¿El texto plantea las limitantes de los modelos de enlace o la existencia de enlaces intermedios?</p>	<p>No</p>	
<p>9. ¿Explican las propiedades de los metales a través del modelo del mar de electrones?</p>	<p>Si</p>	<p>Hoy se acepta que en los metales el enlace no es entre átomos, sino más bien entre cationes metálicos y lo que fueron sus electrones. Así el metal sodio es un conjunto ordenado de iones Na^+ y un “mar de electrones” distribuidos entre ellos. [...]</p> <p>El hecho de que los electrones estén deslocalizados explica porque estos elementos son buenos conductores tanto del calor como de la electricidad, ya que ambos fenómenos están asociados al libre movimiento de sus electrones. [...]</p> <p>Cuando un pedazo del metal se somete a presión externa, los cationes metálicos pueden “resbalar” unos sobre otros, debido a la capa de electrones que los separa. El metal se deforma pero no se rompe, a diferencia de los cristales iónicos. Esta es la explicación de su maleabilidad y de la ductilidad. Pág. 453</p>
<p>10. ¿Introduce alguno de los conceptos siguientes para explicar o describir los aspectos del enlace? a) polaridad b) electronegatividad</p>	<p>a) No b) Si</p>	<p>b) Cuando se combinan dos elementos, la evaluación de la diferencia de sus electronegatividades permite determinar el tipo de enlace que se presenta entre ellos, de acuerdo con la tabla 6.2. Pág. 439</p>

VI. E. A. Gutiérrez R., O. Rodríguez Z. y C. Carmona T., *La química en tus manos*, Cuarta reimpresión: 2010. Primera edición: 2004. UNAM, Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial, México, 2008.

Aspecto	Resultado	Cita Textual o Comentario
1. ¿En la introducción del texto y/o del tema se habla de los modelos y de su uso en ciencias?	No	
2. ¿De forma general se relacionan las propiedades de los compuestos con su tipo de enlace?	Si	Las moléculas de H ₂ , N ₂ y O ₂ presentan enlace covalente de tipo no polar, debido a que los átomos que los constituyen tienen la misma electronegatividad. Se forman moléculas diatómicas que presentan puntos de fusión bajos y por lo general son gases. Pág. 87
3. ¿Existen referencias a algún aspecto histórico?	Si	Alrededor de 1920 W. Kossel y G. N. Lewis notaron que los elementos de los grupos I A hasta el VII A se combinaban, ya se cediendo y aceptando electrones o bien compartiéndolos, de tal forma que la mayoría de los no metales completaban ocho electrones en su última capa (octeto de Lewis). Pág. 88
4. ¿Se da una definición general del enlace químico?	Si	Los enlaces son las fuerzas que mantienen unidos a los átomos dentro de un compuesto. Pág. 84
5. ¿Se habla del carácter iónico, covalente o metálico de los compuestos?	No	
6. ¿Cómo una introducción al modelo de enlace iónico se hace énfasis en la formación de los iones?	No	
7. ¿Se mencionan las limitantes que tiene la regla del octeto?	No	
8. ¿El texto plantea las limitantes de los modelos de enlace o la existencia de enlaces intermedios?	No	
9. ¿Explican las propiedades de los metales a través del modelo del mar de electrones?	No	
10. ¿Introduce alguno de los conceptos siguientes para explicar o describir los aspectos del enlace? a) polaridad b) electronegatividad	a) Si b) Si	a) El enlace <i>covalente polar</i> se presenta cuando los elementos tienen diferente electronegatividad por lo que la nube electrónica se deforma hacia el elemento más electronegativo, originando polos en la molécula, uno con carga parcialmente positiva y otro con carga parcialmente negativa. Pág. 87 b) La electronegatividad es la capacidad que tiene el núcleo del átomo para atraer hacia sí los electrones que forman parte del enlace químico. Pág. 87

		b) El enlace <i>covalente polar</i> se presenta cuando los elementos tienen diferente electronegatividad por lo que la nube electrónica se deforma hacia el elemento más electronegativo, originando polos en la molécula, uno con carga parcialmente positiva (δ^+) y otro con carga parcialmente negativa (δ^-). Pág. 116
--	--	---

VIII. J. S. Phillips, V. S. Strozak, C. Wistrom, *Química. Conceptos y aplicaciones*, Primera edición, Mc Graw-Hill, México, 2000.

Aspecto	Resultado	Cita Textual o Comentario
1. ¿En la introducción del texto y/o del tema se habla de los modelos y de su uso en ciencias?	Si	Modelos que relacionan las perspectivas macroscópica y submicroscópica. Los dibujos de la figura 1.7 son herramientas que te permiten estudiar lo que de hecho no puedes ver, en este caso, la colocación de los átomos. Estos dibujos representan un tipo de modelo que se usa en la ciencia. En ocasiones, un modelo es algo que puede ver y manipular. [...] Los modelos se utilizan, se someten a prueba y se revisan constantemente durante nuevos experimentos. Un modelo de la estructura submicroscópica de un pedazo de materia debe ser útil para explicar el comportamiento macroscópico que se observa en esa clase de materia, así como predecir el comportamiento que aún no se ha observado. El modelo de la aspirina (ácido acetilsalicílico) que se ilustra en la figura 1.8 es un ejemplo de un modelo científico, es decir, un instrumento diseñado que ayuda a entender y a explicar las observaciones macroscópicas. Los modelos científicos se construyen sobre la experimentación. Pág. 11 [Sólo se usa la palabra en el título, Capítulo 9, Sección 9.1: Un modelo de enlace. Pág. 302]
2 ¿De forma general se relacionan las propiedades de los compuestos con su tipo de enlace?	Si	Es conveniente clasificar a los compuestos según dos tipos de enlaces: iónicos y covalentes. Si conoces el tipo de enlace que hay en un compuesto, puedes predecir muchas de sus propiedades físicas. [...] También puedes razonar en sentido opuesto: si conoces las propiedades físicas de un compuesto desconocido, puedes predecir su tipo de enlace. Pág. 302-303
3 ¿Existen referencias a algún aspecto histórico?	Si	En el siglo XIX, antes de que se descubrieran los electrones, los químicos trataron de visualizar la forma en que se

		<p>combinaban los átomos para formar compuestos. Algunos primeros modelos dibujaban los átomos con ganchos que podían unirse a los ganchos de otros átomos. Pág. 130</p> <p><i>[Existe una breve semblanza de Linus Pauling y su trabajo para la comprensión del enlace químico, en la página 307.]</i></p>
4. ¿Se da una definición general del enlace químico?	Si	Una visión más realista del enlace es considerar que en todos los enlaces químicos se comparten electrones. Pág. 303
5. ¿Se habla del carácter iónico, covalente o metálico de los compuestos?	Si	<p>Si conoces el tipo de enlace que hay en un compuesto, puedes predecir muchas de sus propiedades físicas. [...] También puedes razonar en sentido opuesto: si conoces las propiedades físicas de un compuesto desconocido, puedes predecir su tipo de enlace. Sin embargo, las predicciones no siempre son correctas porque no hay una separación clara entre compuestos iónicos y covalentes. Un compuesto puede ser parcialmente covalente y parcialmente iónico. [...]</p> <p>La mayoría de los compuestos caen dentro de estos dos extremos: tienen características iónicas y también ciertas características covalentes. Pág. 303</p>
6. ¿Cómo una introducción al modelo de enlace iónico se hace énfasis en la formación de los iones?	Si	La transferencia de un electrón desde un átomo de sodio hacia un átomo de cloro forma iones sodio y cloruro. Analiza cuidadosamente el dibujo para ver como esta transferencia proporciona un octeto estable a ambos iones. Pág. 133
7. ¿Se mencionan las limitantes que tiene la regla del octeto?	Si	La regla del octeto dice que los átomos pueden lograr estabilidad logrando ocho electrones en su nivel energético externo (o dos electrones para el caso de los átomos más pequeños). Pág. 132
8. ¿El texto plantea las limitantes de los modelos de enlace o la existencia de enlaces intermedios?	Si	La mayoría de los compuestos caen dentro de estos dos extremos: tienen características iónicas y también ciertas características covalentes. Pág. 303
9. ¿Explican las propiedades de los metales a través del modelo del mar de electrones?	Si	<p>Aunque los átomos del metal se juntan y forman una vasta red, en realidad no hay un sólo átomo que este unido, lo que explica porque los metales son dúctiles y maleables.</p> <p>La conductividad de los metales también se puede explicar por el modelo del mar de electrones del enlace metálico [...]</p> <p>Como los electrones de valencia de todos los átomos metálicos no están unidos a ningún átomo metálico, se pueden mover</p>

		a través del metal cuando se aplica una fuerza externa, como la que proporciona una batería. Pág. 314
10. ¿Introduce alguno de los conceptos siguientes para explicar o describir los aspectos del enlace? a) polaridad b) electronegatividad	a) Si b) Si	a) Los enlaces covalentes polares se llaman <i>polares</i> porque al compartir desigualmente los electrones se generan dos polos a través del enlace. Pág. 310 b) Puedes imaginar el enlace entre los átomos como una lucha de tira y afloja por los electrones de valencia [...] Para usar este modelo de reparto de electrones, necesitas tener una forma de determinar la atracción que ejerce cada átomo sobre los electrones compartidos. La medida de atracción es la electronegatividad. La electronegatividad es una medida de la capacidad de un átomo para atraer los electrones de un enlace. Pág. 303

IX. A. Rico Galicia, R. E. Pérez Orta, *Química I. Agua y Oxígeno*, Tercera Edición de la Cuarta Edición, UNAM-CCH, México, 2012.

Aspecto	Resultado	Cita Textual o Comentario
1. ¿En la introducción del texto y/o del tema se habla de los modelos y de su uso en ciencias?	Si	<p>Un modelo es la representación de la realidad, en ocasiones es algo que puedes ver y manipular, como los modelos de automóviles y aviones o el modelo a escala de una casa. En los modelos científicos se emplean objetos tangibles o imágenes para representar procesos invisibles a nuestros ojos. Por ejemplo, las partículas invisibles de un gas se pueden visualizar como bolas de billar o canicas, o bien como puntos o círculos en un papel. Pág. 46</p> <p>En química, los modelos se utilizan para relacionar el comportamiento observado con las estructura de la materia (ver figura 1.11). Pág. 47</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>Figura 1.11 Los modelos, una forma para relacionar el comportamiento de la materia y su estructura</p>
2. ¿De forma general se relacionan las propiedades de los	Si	Al estudiar la formación y las propiedades de diversos compuestos, se han generado algunos modelos para explicar las uniones entre los elementos que los constituyen, la naturaleza de estas uniones va a determinar las

compuestos con su tipo de enlace?		<p>propiedades físicas y químicas de los distintos compuestos, así tenemos que el cloruro de sodio (NaCl), que es un sólido a temperatura ambiente y presenta puntos de fusión y ebullición muy altos, o bien, el alcohol etílico que es un líquido a temperatura ambiente y sus puntos de fusión y ebullición son muy bajos. Pág. 178</p> <p><i>En el Cuadro 2.15, se hace un resumen de las Características de los enlaces. Pág. 192</i></p> <div data-bbox="701 459 1357 863" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p style="text-align: center; font-size: small;">Cuadro 2.15 Características de los enlaces</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">CARACTERÍSTICAS</th> <th style="text-align: center;">ENLACE IÓNICO</th> <th style="text-align: center;">ENLACE COVALENTE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Partículas unitarias</td> <td>Iones positivos y negativos</td> <td>Moléculas</td> </tr> <tr> <td>Estado físico a temperatura ambiente</td> <td>Sólido</td> <td>Puede ser sólido, líquido o gaseoso</td> </tr> <tr> <td>Punto de fusión</td> <td>Alto de 300 a 1000 °C</td> <td>Bajo; muy variable</td> </tr> <tr> <td>Fuerzas de unión</td> <td>Interiónicas</td> <td>Intermoleculares</td> </tr> <tr> <td>Conductividad eléctrica</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>• como sólido</td> <td>• No</td> <td>• No</td> </tr> <tr> <td>• fundido</td> <td>• Sí, buena</td> <td>• No</td> </tr> <tr> <td>• en agua</td> <td>• Sí, buena</td> <td>• No</td> </tr> <tr> <td>Solubilidad</td> <td>Solubles en disolventes polares como el agua</td> <td>Compuestos covalentes no polares: solubles en disolventes no polares Compuestos covalentes polares: solubles en disolventes polares</td> </tr> <tr> <td>Ejemplos</td> <td>NaCl, CaCl₂, CaO</td> <td>CH₄, CO₂, H₂O, I₂</td> </tr> </tbody> </table> </div>	CARACTERÍSTICAS	ENLACE IÓNICO	ENLACE COVALENTE	Partículas unitarias	Iones positivos y negativos	Moléculas	Estado físico a temperatura ambiente	Sólido	Puede ser sólido, líquido o gaseoso	Punto de fusión	Alto de 300 a 1000 °C	Bajo; muy variable	Fuerzas de unión	Interiónicas	Intermoleculares	Conductividad eléctrica			• como sólido	• No	• No	• fundido	• Sí, buena	• No	• en agua	• Sí, buena	• No	Solubilidad	Solubles en disolventes polares como el agua	Compuestos covalentes no polares: solubles en disolventes no polares Compuestos covalentes polares: solubles en disolventes polares	Ejemplos	NaCl, CaCl ₂ , CaO	CH ₄ , CO ₂ , H ₂ O, I ₂
CARACTERÍSTICAS	ENLACE IÓNICO	ENLACE COVALENTE																																	
Partículas unitarias	Iones positivos y negativos	Moléculas																																	
Estado físico a temperatura ambiente	Sólido	Puede ser sólido, líquido o gaseoso																																	
Punto de fusión	Alto de 300 a 1000 °C	Bajo; muy variable																																	
Fuerzas de unión	Interiónicas	Intermoleculares																																	
Conductividad eléctrica																																			
• como sólido	• No	• No																																	
• fundido	• Sí, buena	• No																																	
• en agua	• Sí, buena	• No																																	
Solubilidad	Solubles en disolventes polares como el agua	Compuestos covalentes no polares: solubles en disolventes no polares Compuestos covalentes polares: solubles en disolventes polares																																	
Ejemplos	NaCl, CaCl ₂ , CaO	CH ₄ , CO ₂ , H ₂ O, I ₂																																	
3 ¿Existen referencias a algún aspecto histórico?	Si	<p>(44) ENTÉRATE... Las uniones químicas entre átomos. La idea de que las fuerzas químicas son de naturaleza eléctrica, surge cuando en 1800 el inglés William Nicholson descompuso el agua en oxígeno e hidrógeno haciendo pasar por ella una corriente eléctrica. Sin embargo, fue Humphry Davy en 1807 el primero en sugerir que las fuerzas que rigen las uniones químicas son de naturaleza eléctrica. Pág. 178</p>																																	
4. ¿Se da una definición general del enlace químico?	Si	<p>Cuando se dice que dos átomos están enlazados entre sí, quiere decir que se encuentran muy cerca uno del otro y que se mantienen unidos bajo la acción de ciertas fuerzas; lo que llamaremos de aquí en adelante enlace químico. Estas uniones entre átomos pueden ser: entre átomos de un mismo elemento o entre átomos de elementos distintos (Entérate 44). Pág. 178</p>																																	
5. ¿Se habla del carácter iónico, covalente o metálico de los compuestos?	No	<p>El enlace iónico se puede explicar como un caso extremo del enlace covalente si el desplazamiento del par de electrones compartidos hacia uno de los núcleos fuera tan grande que se rompiera el enlace, los átomos que forman la molécula se convierten en iones, uno positivo y uno negativo. Pág. 186</p>																																	
6. ¿Cómo una introducción al modelo de enlace iónico se hace énfasis en la formación de los iones?	Si	<p>El átomo de sodio cede un electrón al cloro, por lo que se convierten iones Na⁺ y Cl⁻. Al transferir el sodio, su único electrón, de la última capa al átomo de cloro, obtienen ambos la estructura electrónica estable correspondiente a la del gas noble más próximo, en este caso el neón para el sodio y el argón para el cloro. Pág. 181-182.</p>																																	

Cuadro 2.13 Tipo de enlace de acuerdo a la diferencia de electronegatividad	
DIFERENCIA	TIPO DE ENLACE
Igual a cero	Covalente puro o no polar
Mayor a cero y menor a 1.7	Covalente polar
Igual o mayor a 1.7	Iónico

El enlace iónico se puede explicar como un caso extremo del enlace covalente si el desplazamiento del par de electrones compartidos hacia uno de los núcleos fuera tan grande que se rompiera el enlace, los átomos que forman la molécula se convierten en iones, uno positivo y uno negativo. Pág. 186

X. A. Rico Galicia, R. E. Pérez Orta, *Química Segundo curso para estudiantes del Bachillerato del CCH*, Primera Edición, UNAM-CCH, México, 2009.

Aspecto	Resultado	Cita Textual o Comentario
1. ¿En la introducción del texto y/o del tema se habla de los modelos y de su uso en ciencias?	No	
2. ¿De forma general se relacionan las propiedades de los compuestos con su tipo de enlace?	No	
3. ¿Existen referencias a algún aspecto histórico?	No	
4. ¿Se da una definición general del enlace químico?	No	
5. ¿Se habla del carácter iónico, covalente o metálico de los compuestos?	No	
6. ¿Cómo una introducción al modelo de enlace iónico se hace énfasis en la formación de los iones?	Si	<p>En la figura 7 se explica el proceso de formación de los iones a partir de los átomos neutros. Un átomo de sodio neutro pierde un electrón para formar un ion sodio Na^+, y un átomo de cloro neutro gana un electrón para convertirse en un ion Cl^-, los iones Na^+ y Cl^- se atraen mutuamente para formar un cristal de NaCl. Pág. 43.</p> <p>Figura 7. Formación de iones. En la figura 7 se explica el proceso de formación de los iones</p>

7. ¿Se mencionan las limitantes que tiene la regla del octeto?	No	
8. ¿El texto plantea las limitantes de los modelos de enlace o la existencia de enlaces intermedios?	No	
9. ¿Explican las propiedades de los metales a través del modelo del mar de electrones?	No	
10. ¿Introduce alguno de los conceptos siguientes para explicar o describir los aspectos del enlace? a) polaridad b) electronegatividad	a) No b) Si	b) La transferencia de electrones es probable que ocurra entre elementos cuyas electronegatividades son significativamente diferentes. Al observar una tabla de electronegatividades, el sodio, el litio, el magnesio y los otros elementos del extremo izquierdo de la Tabla Periódica tienen valores bajos de electronegatividad; estos metales son muy reactivos y tienen una fuerte tendencia a donar electrones y formar iones positivos. Por otro lado, el cloro, el flúor, el oxígeno y otros elementos no metales del extremo derecho de la Tabla Periódica tienen valores altos de electronegatividad. Esto hace que tengan una fuerte atracción por los electrones y así formen iones negativos. Pág. 44

8. Bibliografía

1. Barke H-D, Harsch Günther y Schmid S, (2012) Structural and Mental Models en *Essentials of Chemical Education*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 328.
2. Bello, G. S, (2008) *La búsqueda. Ideas previas en el nivel universitario: evolución y persistencia*, Hacia el cambio conceptual en el enlace químico, Bello, G. S., (compilador), México: Siglo XXI Editor, Facultad de Química, 190 páginas.
3. Bergqvist A., Drechsler M., De Jong O y Chang Rundgren, (2013) Representations of chemical bonding models in school textbooks – help or hindrance for understanding?, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 14, 589-606
4. Berry A. Loughran J. y Van Driel J. H, (2008) Revisiting the Roots of Pedagogical Content Knowledge, *Editorial*, 30, 10, 1271-1279
5. Campanario J. M. y Moya A, (1999) ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas, *Enseñanza de las ciencias*, 17 (2), 179-192
6. Cetina K, (2005) La fabricación del conocimiento. Un ensayo sobre el carácter constructivista y contextual de la ciencia, Editorial Universidad Nacional de Quimes, Buenos Aires, pp. 366.
7. Chamizo, J.A, (2010a) *El conocimiento químico*, Historia y Filosofía de la química, Chamizo J.A, (compilador) México: Siglo XXI Editores/Facultad de Química, 245 páginas.
8. Chamizo, J.A, (2010b) Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 7, (1), 26-41.
9. Chamizo, J.A, (2010c) *Los modelos en la enseñanza de las ciencias*, Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias naturales, Chamizo J.A. y García A., (coordinadores) México: UNAM/Facultad de Química, 118 páginas.
10. Chamizo, J.A, (2011) La imagen pública de la química, *Educación Química*, 22 (4), 320-331.
11. Chamizo, J.A, (2013) A New Definition of Models and Modeling in Chemistry's Teaching, *Sci & Educ.*, 22, 1613-1632.
12. Coll R. K., y Lajium D, (2011) Modeling and the Future of Science Learning, en M. S. Khine y I. M. Saleh (eds.), *Models and Modeling*, Models and Modeling in Science Education, Springer Science, pp. 3-21.
13. Croft M., y de Berg. (2004), From Common Sense Concepts to Scientifically Conditioned Concepts of chemical Bonding: to Address Learning and Teaching Issues at the Secondary School Level, *Sci. & Educ.*, (23), 1733-1761
14. De Posada, J. M. (1999), Concepciones de los alumnos sobre el enlace químico antes, durante y después de la enseñanza formal. Problemas de aprendizaje, *Enseñanza de las ciencias*, 17, (2), 227-245
15. Der Valk T. V., Van Driel J. H. y De vos W., (2007), Common Characteristic of Models in Present-Day Scientific Practice, *Res. Sci. Educ.*, 37, 469-488
16. Dhindsa H. S. y Treagust D. F., (2014), Prospective pedagogy for teaching chemical bonding for smart and sustainable learning, *Chem. Educ. Res. Pract.* (15), 435-446.
17. Galagosvsky L. y Aduriz-Bravo A., (2001), Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico, *Enseñanza de las ciencias*, 19, (2), 231-242.
18. García, F. A. y Garritz, R. A. (2006), Desarrollo de una unidad didáctica: el estudio del enlace químico en el bachillerato, *Enseñanza de las ciencias*, 24, (1), 111-124.
19. García Franco A., Garritz A. y Chamizo J. A, (2008). Enlace químico. Una aproximación constructivista a su enseñanza, *Hacia el cambio conceptual en el enlace químico*, Bello, G. S., (compilador), México: Siglo XXI Editor, Facultad de Química, 190 páginas.

20. Garritz A., (2014), ¿Qué es el CDC? ¿Cuáles son sus elementos fundamentales? en Garritz A. (ed.), Lorenzo M.G. y Daza Rosales S.F., *Conocimiento didáctico del contenido*, Una perspectiva Iberoamericana, Editorial Académica Española, Saarbrückem, Alemania, pp. 24-35
21. Garritz A. y Mellado V., (2014), El Conocimiento Didáctico del Contenido y la afectividad, en Garritz A. (ed.), Lorenzo M.G. y Daza Rosales S.F., *Conocimiento didáctico del contenido*, Una perspectiva Iberoamericana, Editorial Académica Española, Saarbrückem, Alemania, pp. 229-265.
22. Gayle N. (2001), A report of undergraduates bonding misconceptions, *Int. J. Sci. Educ.*, 23, (7), 707-730.
23. Gess-Newsome J., (1999) Pedagogical Content Knowledge: an introduction and orientation, en J. Gess-Newsome y N. G. Lederman (eds.), *Examining pedagogical content knowledge*, Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pp. 3-17.
24. Gilbert J. K. (2000) Thought experiments in science education: potencial and current realization, *International Journal of Science. Education*, 22, 3, 265-283
25. Gilliespie, R. J. (1979), The great ideas in Chemistry, *J.Chem. Educ.*, 74, 862-864
26. Haluk, O. (2004), Some Student Misconceptions in Chemistry: a Literature Review of Chemical Bonding, *Journal of Science Education and Technology*, 13, (2), 147-159
27. Harrison A. G y Treagust D. F, (2006) Teaching and learning with analogies, en Aubusson P.J., (ed.), Harrison A. G y Ritchie S. M., *Metaphor and Analogy in Science Education*, Editorial Springer, Netherlands, pp. 11-24
28. Hurst O. (2002) How we teach structures to freshmen?, *J. Chem. Educ.*, 79 (6), 763-764
29. Jacob, C. (2007) Análisis y síntesis. Operaciones interdependientes entre la práctica y el lenguaje químico en *La esencia de la química. Reflexiones sobre filosofía y educación*, Chamizo J.A., (editor) México: Siglo XXI Editores/Facultad de Química, 208 páginas.
30. Jensen, W. B., (1984), Abegg, Lewis, Langmuir, and the octet rule, *Journal of Chemical Education*, (61), 3, 191-200
31. Jensen, W. B., (2009), The origin of the Metallic Bond, *Journal of Chemical Education*, (3), 86,278-279
32. Justi R y Gilbert J, (1999) A cause of Ahistorical Science Teaching: use of Hybrid Models, *Inc. Sci. Ed.*, 83, 163-167
33. Kaberman Z y Dori Y. J, (2009), Questin Posing, Inquiry and modeling skills of chemistry Students in the case-based Computerized Laboratory environment, *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7, 597-625
34. Kneller, G. (2009), "De las conjeturas a los paradigmas y los programas de investigación a los anteproyectos metafísicos" Aspectos filosóficos y sociales de las ciencias, Chamizo J.A., (compilador) UNAM, México, 104 páginas.
35. Kuhn, Thomas S, (1997) *La tensión esencial: Estudios selectos sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia*, FCE, México.
36. Laing M. (1993) A tetrahedron of bonding, *Education in chemistry*, 160-163
37. Loughran J., Mulhall P. y Berry A, (2008) Exploring Pedagogical Content Knowledge in Science Teacher Education, *International Journal of Science Education*, 10, volume 30, 1301-1320
38. Loughran J., Mulhall P. y Berry A, (2004) In Search of Pedagogical Content Knowledge in Science: Developing Ways of Articulating and Documenting Professional Practice, *Journal of Research in Science Education*, 4, volume 41, 370-391
39. Lavoisier, "Tratado elemental de Química", traducido al español, acceso libre.
40. Luxford, C. J. and Lowery, B. S, (2014) Development of the Bonding Representations Inventory To Identify Students Misconceptions about Covalent and Ionic Bonding Representations, *Journal of Chemical Education*, 91, 312-320

41. Magnusson S., Krajcik J. y Borko H., (1999) Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching, en J. Gess-Newsome y N. G. Lederman (eds.), *Examining pedagogical content knowledge*, Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pp. 95-132.
42. Morine-Dersheimer G., y Kent T., (1999) The complex nature and sources of Teachers' Pedagogical Knowledge, en J. Gess-Newsome y N. G. Lederman (eds.), *Examining pedagogical content knowledge*, Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pp. 21-50.
43. Mozzer N. B. y Justi R., (2013) Science Teachers' Analogical Reasoning, *Research in Science Education*, 43, 1689-1713
44. Nahum T. L., Mamlok-Naaman R., Hofstein A. y Taber K. S., (2010) Teaching and learning the concept of chemical bonding, *Studies in Science Education*, (2), 46, 179-207
45. Nahum, T. L., Mamlok-Naaman, R., y A. Hofstein (2008) A new "bottom-up" framework for teaching chemical bonding, *Journal of Chemical Education*, (85), 12, 1681-1685
46. Nieto-Galván, A. (2010) ¿Para qué sirve la historia de la química? Una reflexión sobre el pasado de una profesión, *Historia y Filosofía de la química*, Chamizo J.A., (compilador) México: Siglo XXI Editores/Facultad de Química, 245 páginas.
47. Oliva J. M. y Aragón M. M., (2009) Aportaciones de las analogías al desarrollo de pensamiento modelizador de los alumnos en química, *Educación Química*, 41-54.
48. Padilla K., (2014) El CDC y la formación de profesores, en Garritz A. (ed.), Lorenzo M.G. y Daza Rosales S.F., *Conocimiento didáctico del contenido*, Una perspectiva Iberoamericana, Editorial Académica Española, Saarbrückem, Alemania, pp. 175-209.
49. Padilla K. y Van Driel J., (2012) Relationships among cognitive and emotional dimensions of teaching quantum chemistry at university level, *Educación Química*, 23, (E2), 311-326
50. Padilla K., y Van Driel J., (2011) The relationships between PCK components: the case of quantum chemistry professors, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 12, 367-378
51. Peterson, R. F. and Treagust, D.F. (1989) Grade- 12 Students' Misconceptions of Covalent Bonding and Structure, *Journal of Chemical Education*, 66, (6), 459-460
52. Peterson, R. F., Treagust, D.F. y Garnett, P. (1989) Development and application of a diagnostic instrument to evaluate grade 11 and 12 students' concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction, *Journal of Research in Science Teaching*, 26 (4), 301-314
53. Piburn, M., Sawada, D. (2000) RTOP: Reformed Teaching Observation Protocol: Reference Manual, University of Arizona.
54. Raviolo A. y Garritz A., (2007) Uso de analogías en la enseñanza de la química: necesidad de elaborar decálogos e inventarios, *Alambique, Didáctica de las ciencias experimentales*, 51, 28-39
55. Richards, (2009) Estudios sociales de ciencia y tecnología en *Aspectos filosóficos y sociales de las ciencias*, Chamizo J.A., (compilador) UNAM, México, 104 páginas.
56. Sosa Fernández, P., Hernández Millán G., Nieto Calleja E. y Padilla Martínez K. (2008) De las propiedades de las sustancias a las interacciones químicas, *Hacia el cambio conceptual en el enlace químico*, Bello, G. S., (compilador), México: Siglo XXI Editor, Facultad de Química, 190 páginas.
57. Sproul, G. D (1993) Electronegativity and bond type. I. Tripartite Separation, *Journal of Chemical Education*, (70), 7, 531-534.
58. Sproul, G. D, (1994) Electronegativity and bond type. 2. Evaluation of Electronegativity Scales, *Journal of Physical Chemistry*, (98), 27, 6699-6703,
59. Sproul, G. D, (1994) Electronegativity and bond type. 3. Origin of Bond Type, *Phys. Chem*, (98), 50, 13221-13224, J.

60. Taber, K. S. (1994) Misunderstanding the ionic bond, *Education in Chemistry*, 36 (5), 135-137
61. Taber, K.S. and Coll, R. K. Bonding. (2002) En: J. K. Gilbert et al. (eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands., pp. 213-234
62. Talanquer V, (2004) Formación docente: ¿Qué conocimiento distingue a los buenos maestros de química?, *Educación Química*, 15 [1], , 52-58
63. Thiele R. B. y Treagust D. F., (1991), Using analogies in secondary chemistry teaching, *Australian Science Teachers Journal*, 37, 10.14
64. Ünal, S., Muammer C., Ayasand A., Coll, R. K, (2006) A review of chemical bonding studies: needs, aims, methods of exploring student's conceptions, general knowledge, claims and student's alternative conceptions, *Research in Science & Technological Education*, 24, (2), 141-172
65. Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994) Research on alternative conceptions in science. In D. L. Gabel (Eds.), *Handbook of research on science teaching and learning*, New York: Simon & Schuster and Prentice Hall International. (pp. 177-210).

